

YMPÄRISTÖYSTÄVÄLLISEN KIVITALON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tietoa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä ja ympäristötehokkuutta edistävistä valinnoista kivitalojen suunnittelijoille ja rakennuttajille



Kuva ©
Länsi-Suomen
Diakonialaitos

Raportti 30.10.2012

Toimeksiantaja: Betoniteollisuus ry

Kirjoittajat: Panu Pasanen, Tytti Bruce, Anastasia Sipari

Sisällysluettelo

1 Johdanto	3
2 Tiivistelmä	4
3 Rakentamisen ympäristövaikutuksiin vaikuttaminen	6
3.1 Ympäristövaikutusten määräytyminen ja syntyminen	6
3.2 Rakennuksen elinkaaren vaiheiden osuus päästöistä	7
3.3 Mikä on tärkeää ympäristövaikutusten hallinnassa?	8
3.4 Ympäristövaikutuksiin vaikuttaminen hankkeen eri vaiheissa	8
4 Kivimateriaalien ympäristöominaisuudet	10
4.1 Betonin ja sen raaka-aineiden ilmastovaikutus	10
4.2 Tiilen ja sen raaka-aineiden ilmastovaikutus	11
4.3 Kivirakenteiden ympäristösuorituskykyä parantavat ominaisuudet	11
4.3.1 Kivirakenteiden terminen massa	12
4.3.2 Rakennuksen ja tilojen muuntojoustavuus	13
4.3.3 Runkomateriaalin vaikutus ulkopinta-alaan	13
4.3.4 Vaipan ilmanpitävyyden taso ja kestävyys	14
4.3.5 Betonirakenteisiin käytön aikana sitoutuva hiilidioksidi	14
5 Suunnittelijan ja rakennuttajan valinnat	16
5.1 Rakennuksen pitkäjänteinen tarve ja käyttöikä	16
5.2 Rakennuksen sijainti ja käyttäjien tarpeet	16
5.3 Rakennuksen massoittelu ja ulkovaipan johtumisenergia	17
5.4 Energiatehokas arkkitehtuuri ja suunnittelu	18
5.5 Lämmitys- ja energiantuotantoratkaisujen valinta	19
5.6 Rakennuksen energiatehokas ja kestävä käyttö	20
6 Kivitalon suunnittelijan valinnat	22
6.1 Tarpeettoman korkeiden lujusluokkien välttäminen	22
6.2 Seos- ja lisäaineiden käyttö sementin ja betonin raaka-aineina	23
6.3 Pidemmän laadunarvosteluiän suunnittelu	23
6.4 Suunnittelun ohjaus ja massojen optimointi	24
7 DiaVilla: miten tehdään tavanomaisesta erinomainen	25
7.1 Rakennuksen toiminnallisuutta kuvaavat tiedot	25
7.2 Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki perustilassa	25
7.3 Tavanomaisesta tehokkaaseen – päästöjen puolittaminen	26
7.4 Tehokkaasta erinomaiseen – päästöt kolmasosaan	26
7.5 Skenaarioiden tulokset ja merkitys	26
8 Tuoteinnovaatiot	28
8.1 Kaupallisesti Suomessa saatavilla olevat	28
8.2 Muualla markkinoille tuodut tai tuotekehitysvaiheessa olevat	28
Lähdeluettelo	29

Tämän raportin tarkoitus on tuoda ymmärrettävää, objektiivista ja numeerista ympäristötietoa betonirakennuksia suunnitteleville, rakennuttaville ja urakoiville tahoille.

Rakennuksen ympäristötehokkuutta tarkastellaan tässä rakennuksen elinkaaren hiilipäästöjen, eli hiilijalanjäljen kautta. Tässä raportissa keskitytään erityisesti niihin valintoihin ja vaihtoehtoihin, joita asuinkerrostaloja rakentaessa joudutaan pohtimaan.

Elinkaaren hiilijalanjälki soveltuu rakentamisen ympäristötehokkuuden mittariksi, koska:

- sen avulla rakentamis- ja käyttövaihetta voidaan tarkastella samalla mittarilla,
- ilmastomuutoksen hillintä on yksi tärkeä osa yhteiskunnallista poliittista ohjausta, ja
- hiilijalanjälki korreloi positiivisesti muiden ympäristövaikutusluokkien kanssa, joten se antaa suuntaa myös laajemmista ympäristövaikutuksista.

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen laskentaan on olemassa yhteismitallinen ja eurooppalaisen rakennusalaan koskevan sääntelyn kanssa harmonisoitu standardi *EN-15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*, joka määrittelee käytettävän laskentatavan ja rajaukset. Standardia sovelletaan Suomen oloissa tammikuussa 2013 julkaistavan *FIGBC Elinkaaritehokkuus*-soveltamisohjeen avulla, joka antaa yksityiskohtaiset laskentaohjeet. Sovellusohjeen laatii Bionova Consulting Green Building Council Finlandin toimeksiantona.

Ympäristöystävällinen rakentaminen tuottaa käyttäjien tarvitseman palvelu- ja laatutason pienin ympäristövaikutuksin koko elinkaaren ajalta. Lähtökohtana on tarvitun palvelu- ja laatutason saavuttaminen. Jos vaihtoehtoja vertaillaan, kaikkien tulee saavuttaa annetut tavoitteet ja tuottaa vaadittu palvelu- ja laatutaso.

Tässä raportissa keskitytään tapoihin, joilla betonimateriaalista voidaan rakentaa entistä ympäristötehokkaampia asuinrakennuksia. Raportti ei pyri asettamaan eri rakennusmateriaaleja järjestykseen niiden ympäristösuorituskyvyn perusteella. Tässä raportissa käydään läpi betonin ympäristöominaisuuksia erityisesti asuinkerrostaloissa.

Raportin on laatinut Betoniteollisuus ry:n toimeksiantonnasta Bionova Consulting, josta työhön ovat osallistuneet Panu Pasanen, Tytti Bruce ja Anastasia Sipari.

Työtä ovat ohjanneet Betoniteollisuus ry:stä Jussi Mattila ja Rakennusteollisuus RT ry:stä Tiina Suonio. Lisäksi raporttiin on saatu kommentteja ja aineistoa käyttöön useilta eri tahoilta, josta kiitokset kaikille osallistujille. Erityiskiitos kuuluu MVR-Yhtymä Oy:lle mahdollisuudesta käyttää käynnissä olevaa rakennushanketta tämän raportin esimerkkikohteenä.

Rakentamisen ympäristövaikutukset määräytyvät pääasiassa hankesuunnittelu- ja varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Ympäristövaikutukset toteutuvat kuitenkin pääasiassa rakentamisen ja rakennuksen käytön aikana, jolloin niihin on vaikeaa ja kallista vaikuttaa. Jos halutaan vähähiilinen rakennus, tulee tämä asettaa tavoitteeksi jo suunnitteluvaiheessa.

Rakennusten ympäristötehokkuutta on perusteltua tarkastella elinkaarimittareilla, jotka huomioivat kaikki vaikutukset rakennusmateriaalien valmistuksesta käyttövaiheen kautta rakennuksen purkuun. Elinkaarimittarit varmistavat, että vähäpäästöiset valinnat yhdessä vaiheessa eivät huomaamatta kasvata päästöjä muissa vaiheissa. Toisaalta voi olla perusteltua kasvattaa päästöjä rakentamisvaiheessa, jos tällä saavutetaan suuremmat kokonaishyödyt käyttövaiheen päästöjä vähentämällä.

Tyypillisessä suomalaisessa asuinkerrostalossa, jota tarkastellaan 100 vuoden elinkaarella, on käyttöenergian osuus elinkaaripäästöistä yli 80 %. Rakentamisen osuus on alle 20 %. Kun rakennusten energiatehokkuutta kehitetään, kasvaa rakentamisen merkitys. Kerrostalon päästötehokkuuden kannalta tärkeimpiä tekijöitä ovat pitkäjänteinen tarve ja käyttökelpoisuus, energiatehokkuus, kestävät materiaalit ja myös muunneltavuus.

Betoni on veden jälkeen maailman toiseksi käytetyin aine. Betonin tärkeimmät raaka-aineet ovat kiviaines, sementti, vesi ja seos- ja lisäaineet. Betonin hiilijalanjälki riippuu käytetyn betonin lujuus- ja säilyvyysvaatimuksista, valmistustavasta ja muista ominaisuuksista. Betonirakenteen päästöintensivisimmät raaka-aineet ovat sementtiklinkkeri ja rauditus. Betonin lisäksi myös tiili on merkittävä kivimateriaali. Tiilen valmistuksen päästöistä suurin osa syntyy tiilen poltosta. Sementin ja tiilen valmistusta hallitaan päästökauppamekanismilla.

Kivirakenteilla on seuraavia rakennuksen käytönajan päästöjä alentavia ominaisuuksia:

- Kivirakenteiden terminen massa toimii lämpövaraajana: sitoo lämpöä kuumana aikana ja vapauttaa sitä kylmänä aikana, ja vähentää lämmitys- ja jäähdytystarvetta,
- Betonirakenteet mahdollistavat pitkät jännevälit, joiden avulla voidaan vähentää kantavia väliseiniä ja näin helpottaa tilan ja käyttötarkoituksen muunneltavuutta,
- Betonirakenteiden ohuet välipohjat alentavat kerroskorkeutta ja näin ulkopinta-alaa,
- Kivirakenteilla on hyvä ilmanpitävyys, joka säilyy rakennuksen elinkaaren ajan,
- Betonirakenteet sitovat itseensä hiilidioksidia käytön aikana ilman vaikutuksesta, ja palauttavat näin osan valmistusprosessissa vapautuneesta hiilidioksidista, ja
- Kivirakenteiden kestävyys tarjoaa mahdollisuuden rakentaa pitkäikäisiä rakennuksia ja julkisivuja, jotka voivat saavuttaa hyvinkin pitkän elinkaaren.

Vähäpäästöisen rakentamisen pääperiaatteet ovat samoja kaikille rakennusmateriaaleille. Suunnittelija, arkkitehti ja etenkin suunnittelun tavoitteet asettava rakentaja voivat valinnoillaan vaikuttaa rakennuksen ympäristötehokkuuteen, materiaaleista riippumatta.

Vähäpäästöisen rakentamisen tärkeimpiä suunnittelutekijöitä ja päätöksiä ovat:

- Rakennuksen tarpeen, teknisen käyttöiän ja muunneltavuuden varmistaminen, koska vajaakäyttöiseksi jäävä rakennus ei ole myöskään ympäristötehokas,
- Rakennuksen sijainnin valinta käyttäjien tarpeet huomioiden,

- Rakennuksen massoittelu niin, että ulkovaipan energiahukka minimoidaan,
- Energiatehokas suunnittelu, joka minimoi lämpöhäviöt ja ostoenergian tarpeen,
- Lämmitys- ja energiantuotantoratkaisut, joilla vaikutetaan käyttövaiheen päästöihin, ja
- Energiatehokas ja kestävä käyttö rakennuksen käyttäjien ja isännöitsijän toimesta.

Vähäpäästöisen kivitalon suunnittelija voi hyödyntää työssään kaikkia edellä mainittuja osa-alueita, mutta lisäksi suunnittelussa voidaan huomioida eräitä kivitalolle ominaisia piirteitä, joiden avulla rakennusmateriaalin kysyntää ja päästötasoa voidaan hallita:

- Betonin lujuustason optimointi vähentää sementin ja näin CO₂-päästöjen määrää silloin, kun alempi lujuustaso ei johda suurempaan materiaalin kysyntään,
- Seos- ja lisäaineiden käyttö sementissä ja näitä hyödyntävien sementtilaatujen käyttäminen johtavat pienempiin päästöihin,
- Pidemmän laadunarvosteluiän käyttö mahdollistaa vaadittuun lujuuteen pääsemisen myös pienemmällä sementtimäärillä, ja
- Materiaalin määrän optimointi mahdollistaa vähäpäästöisemmät rakenteet, jos määrän vähennys ei alenna rakennuksen käyttöikää.

Vähähiilistä rakentamista on tuotu lähemmäs rakentamisen käytäntöä ottamalla tarkasteluun rakennushanke, jonka päästötason kehittämismahdollisuuksia tarkastellaan. Kohderakennus on Porin DiaVilla, vanhusten palveluasumisen asuinkerrostalo. Rakennus rakennetaan valurunkoisena B-energialuokkaan ja se valmistuu kesällä 2013. Kohteen hiilijalanjälki laskettiin eurooppalaisen EN 15978-standardin mukaisesti esimerkkinä hiilijalanjäljen laskennasta asuinkerrostalolle.

Esimerkkikohteen elinkaaren hiilijalanjälki ilman kehittämistoimenpiteitä on 50 vuodessa noin 5 500 tonnia CO₂e, mikä vastaa noin 30 miljoonaa ajokilometriä henkilöautolla, tai 12 200 kilometriä vuodessa kullekin asukkaalle joka vuosi kohteen elinkaaren ajan.

Esimerkkikohdetta tarkasteltiin päästöjen kehittämisen näkökulmasta: mitä toimenpiteitä kohteessa pitäisi tehdä, jotta sen elinkaaren päästöt voitaisiin puolittaa tai saada yhteen kolmasosaan? Ensimmäisen vaiheen toimenpiteiksi valittiin vihreän betonin hyödyntäminen, energiatason parantaminen passiivitasolle sekä maalämpöpumpun asentaminen. Näillä toimenpiteillä saataisiin kohteen elinkaaren hiilijalanjälki puolitettua. Puolitettut päästöt vastaavat noin 15 miljoonaa ajokilometriä, tai 6 200 km per rakennuksen asukas per vuosi.

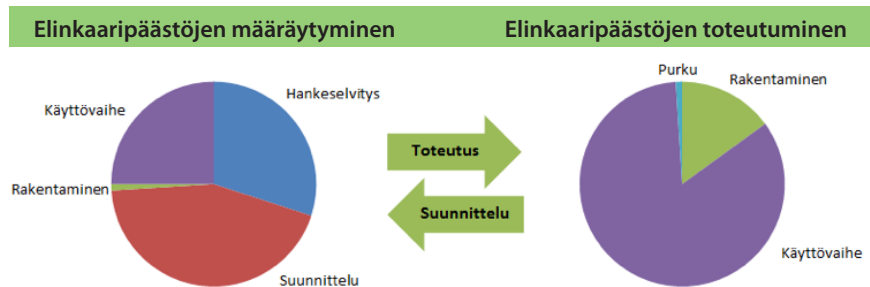
Jotta esimerkkikohteen elinkaaren päästöt saadaan vähennettyä kolmasosaan, tarvitaan lisää toimenpiteitä. Lisätoimenpiteiksi valittiin energialuokan parannus lähes nollaenergiatasolle ja aurinkosähkön tuotanto kiinteistön käyttöön. Päästöt saadaan kolmasosaan lähtötilasta, mutta vaikutus rakennuskustannuksiin on merkittävä. Lisäksi aurinkosähkön tuottamiseen liittyy riski tuotantotavoitteista jäämisestä. Kolmasosan päästötaso vastaa 9 miljoonaa ajokilometriä, tai 3 700 km per rakennuksen asukas per vuosi.

Päästöjä on tehokkainta vähentää yleensä ensiksi käyttöenergiasta, mutta rakentamisvaiheen päästöjen osuus ja sen tehostamisen merkitys kasvaa energiatehokkuuden kehittyessä. Vähäpäästöistä betonia kannattaa hyödyntää ennakkoluulottomasti, kun tavoitteena on vähähiilinen rakennus.

Vähäpäästöiseen betonirakentamiseen on olemassa useita kaupallisesti saatavilla olevia tuotteita, jotka pienentävät ympäristörasitusta selvästi perinteiseen kivirakentamiseen verrattuna. Uusia ympäristötehokkaita tuotteita syntyy, kun niille on kysyntää. Avainroolissa tarjonnan kehittymisen kannalta ovat tuoteteollisuuden lisäksi asiakkaat, jotka käyttävät uusia tuotteita. Muutamia tällaisia tuotteita on koostettu raportin loppuun.

Ympäristövaikutusten määräytyminen ja syntyminen

Ympäristövaikutukset, kuten myös kustannukset, määräytyvät pääasiassa hanke-suunnittelu- ja varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Toisaalta ympäristövaikutukset ja elinkaarikustannukset toteutuvat pääasiassa rakentamisen ja käytön aikana, jolloin niihin on vaikea vaikuttaa.



3.1

Ympäristövaikutusten ja elinkaarikustannusten määräytyminen ja toteutuminen

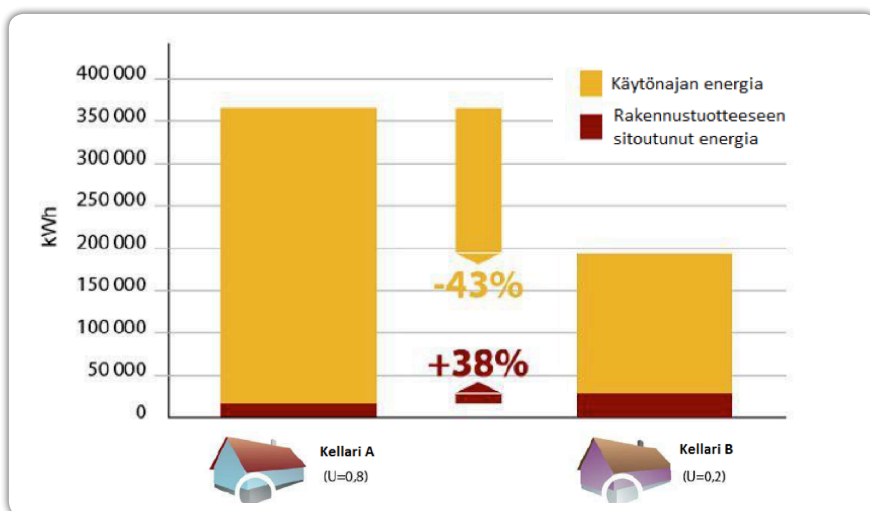
Koska rakennuksen elinkaaren vaikutukset ja kustannukset määräytyvät pääosin varhaisessa vaiheessa, on perusteltua ottaa ympäristövaikutusten hallinta osaksi jo hankeselvitystä. Toisin sanoen, ympäristövaikutuksiin ei voida vaikuttaa tehokkaalla ja merkityksellisellä tavalla, jos niitä ei ole harkittu systemaattisesti jo hankeselvityksessä, suunnittelun tavoitteiden asetannassa ja suunnittelussa.

Esimerkki elinkaaren päästöjen optimoinnista

Alla esitetään esimerkkinä kellarin rakentamisen ja eristämisen elinkaaren aikainen energian kulutus. Kuvaaja erittelee sekä rakennusmateriaaleihin sitoutuneen energian että käyttövaiheen energian (60 vuotta). Tuloksista nähdään, että vaikka paremmin eristetty kellarikasvatkaa rakentamisvaiheen päästöjä yli kolmanneksella, on vaikutus elinkaaren aikana kuitenkin vahvasti positiivinen: koko elinkaaren energiankulutus vähenee noin 40 %.

Jos suunnitteluvaiheessa kellarin eristykseen ei olisi kiinnitetty huomiota, ei rakentamisvaiheen päätöksillä oltaisi enää voitu vaikuttaa energiankulutukseen merkityksellisellä tavalla.

Toisin sanoen, tässä kellariesimerkissä jo noin 5 % parannus käyttövaiheen energiatehokkuudessa riittää kumoamaan 38 % päästöjen lisäyksen rakennusvaiheessa. Vastaava vertailu voitaisiin myös tehdä rakennuksen ulkovaipan tai ulkoseinän osalta: jos ulkoseinä vähentää merkittävästi käytönajan päästöjä, on sillä todennäköisesti kevyempi kokonaisympäristövaikutus, vaikka sen valmistusvaiheen päästöt olisivatkin korkeammat.



Esimerkki kahden erilaisen kellarin toteutustavan energiavaikutuksista, JOMAR 2007.

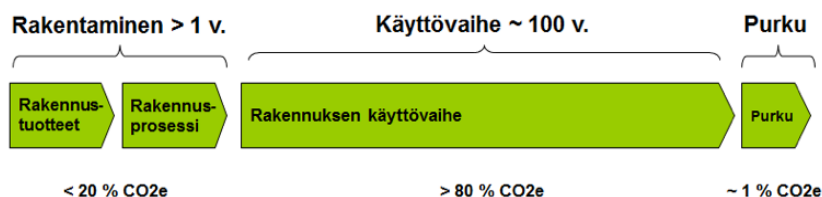
Rakennuksen elinkaaren vaiheiden osuus päästöistä

3.2

Eurooppalainen standardointijärjestö CEN on julkaissut vuonna 2011 standardin rakennusten ympäristötehokkuuden tunnuslukujen laskennasta, *EN-15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. Standardi kattaa useita erilaisia ympäristövaikutusluokkia, mukaan luettuna hiilijalanjälki. Standardia sovelletaan Suomessa tammikuussa 2013 julkaistavan *FIGBC Elinkaaritehokkuus*-soveltamisohjeen avulla, joka antaa yksityiskohtaiset laskentaohjeet. Sovellusohjeen laatii Bionova Consulting ja julkaisee Green Building Council Finland.

Standardin mukaan hiilijalanjälkeä tarkastellaan koko rakennukselle ja tarkastelujakso valitaan käyttäjän tarpeen mukaiseksi. Elinkaaren vaiheista päästölaskentaan huomioidaan rakennusmateriaalit, rakentamisprosessi, rakennuksen käyttö ja rakennuksen purkaminen ja purkujätteen käsittely End-of-Waste-tilaan saakka. Muista vaikutuksista, kuten materiaalien loppukäytöstä, annetaan erillisiä lisätietoja. Näitä ei kuitenkaan lasketa mukaan tuloksiin.

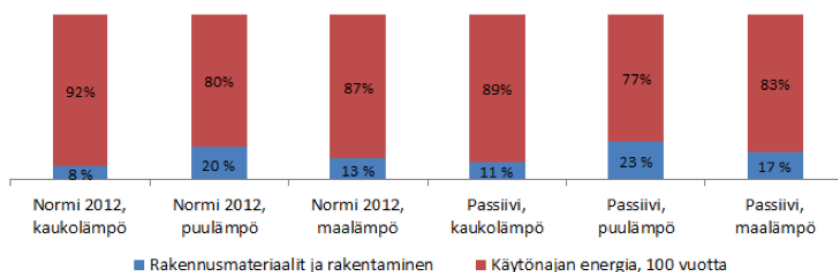
Suomalaisen tyyppillisen uudisrakennetun asuinkerrostalon elinkaaren päästöt jakautuvat alla esitetyllä tavalla, rakennuksen energiatasosta ja lämmitysmuodosta riippuen. Tyyppillisesti kaukolämmityksellä rakentamisvaiheen päästöt ovat viidesosa tai alle, ja uusiutuvalla energialla lämmitettäessä rakentamisen päästöt ovat noin neljännes sadan vuoden päästöistä. Vaikka nämä suuntaviivat pätevätkin tavanomaiselle rakentamiselle, erittäin energiapiihteissä (lähes nollaenergia) rakennuksissa rakentamisen osuus voi olla jopa yli puolet päästöistä.



Päästöjen jakauma tyyppillisestä suomalaisesta kaukolämmitetystä asuinkerrostalosta

Kun tarkastelu tehdään 100 vuoden ajanjaksolle, ja kun energian päästötason ei oleteta laskevan (EN 15978 mukainen tarkastelu), jää rakennusmateriaalien suhteellinen osuus elinkaaren hiilijalanjäljestä selvästi energiaa vähämerkityksellisempään asemaan.

Energian ja rakentamisen osuus elinkaaren hiilijalanjäljessä



Päästöjen jakauma asuinkerrostalolle 100 vuodessa eri energialuokilla ja -ratkaisuilla

Päästöjen jakauma vaihtelee luonnollisesti kohteittain. Lämmitysmuodon valinta ja tarkastelujakson pituus ovat avainasemassa elinkaaren päästöjen jakaumassa, mutta myös rakennusmateriaalilla on merkitystä. Paksummat rakenteet lisäävät rakennusvaiheen päästöjä. Elinkaaritehokkuuden kannalta on järkevää panostaa rakennusvaiheessa suuripäästöisiin ratkaisuihin, jos sillä saavutetaan tätä suuremmat päästövähennykset käyttövaiheessa. Käytönajan energia on järkevää tuottaa mahdollisimman vähäpäästöisesti. Sääntelyn ohjauksessa yleistyvissä lähes nolla- ja nollaenergiataloissa materiaalien ja energiaratkaisujen valmistuksen päästöjen merkitys kasvaa entistä suurempaan rooliin.

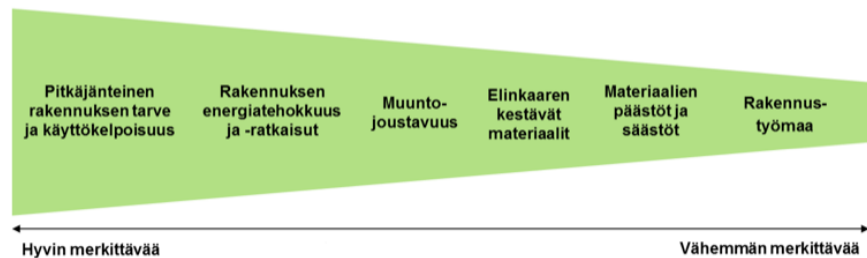
EN 15978-standardin periaatteena on, että tarkasteluun kuuluvat rakennukseen kiinteinä osina kuuluvat osat. Taloussähkö, asukkaiden toiminta ja rakennuksen ulkopuoliset toiminnot, kuten liikenne, eivät kuulu tarkasteluun. Energian pääs-

töjä tarkastellaan nykyhetken päästötasolla. Sähkölle käytetään sähkön kansallista keskiarvopäästöä ja lämmitysratkaisulle käytettyä toimittajaa, esim. alue- tai kaukolämpölaitosta. Laskennan tekijä voi tehdä lisätarkasteluja vaihtoehtoisista skenaarioista, mutta standardin mukaisessa raportoinnissa ja vertailussa on käytettävä standardin mukaisia menetelmiä.

Mikä on tärkeää ympäristövaikutusten hallinnassa?

Rakennushankkeen eri päätöksillä on erisuuruinen vaikutus rakennuksen elinkaaren ympäristövaikutuksiin. Usein harkittu, hyvä ja energiatehokas rakentamistapa tuottaa myös kevyen ympäristövaikutuksen. Ympäristövaikutusten optimoinnilla ei saavuteta suurtakaan hyötyä, jos esimerkiksi rakennuksen tarve tai soveltuvuus käyttöön eivät ole kunnossa. Yksittäiset valinnat vaikuttavat tyypillisesti myös muihin kuin ympäristöominaisuuksiin. Tärkeintä on optimoida rakennuksen kokonaisuus tehokkaaksi ja toimivaksi, ei vain osia.

Eri päätösten merkitystä on havainnollistettu laittamalla asioita alla viitteellisesti suuruusjärjestykseen asuinkerrostalohankkeille hiilijalanjäljellä mitattuna.



3.3

*Päästöjen jakauma
asukerrostalolle 100
vuodessa eri energialuokilla
ja -ratkaisuilla*

Alla konkretisoidaan näitä ympäristötehokkuuteen vaikuttavia seikkoja esimerkeillä.

Vaikutustapa	Esimerkki ongelmasta	Korjaamisen hinta
Soveltuvuus	Finlandia-talon suuri sali suunniteltiin arkkitehdin näkemyksen mukaan akustiikkojen neuvoja vastaan. Konserteja ei voida pitää.	Rakennetaan lisäksi Musiikkitalo, 100 M€+.
Tarve	Teollisuuspaikkakunta rakensi merkittävästi vuokra-asuntoja kauemmas keskustasta. Suuri tehdas vähensi väkeä ja asuntoja ei käytetä.	Puretaan asunnot. Hukkainvestointi kymmeniä miljoonia.
Muunneltavuus	Kylän väestörakenne vanhenee. Kylän koulu lakkautetaan käytön puutteesta. Toisaalta vanhustenhoitoon tarvitaan lisää tilaa.	Koulu myydään. Samalla rakennetaan vanhainkoti. Kustannus: ?
Turvallisuus	Rakennetaan päiväkotito. Säästetään rakentamis- ja käyttövaiheissa. Päiväkotito syntyy homeongelmia ja tiloja ei voida käyttää.	Vuokrataan uudet tilat. Peruskorjataan rakennus. Kustannus: ?

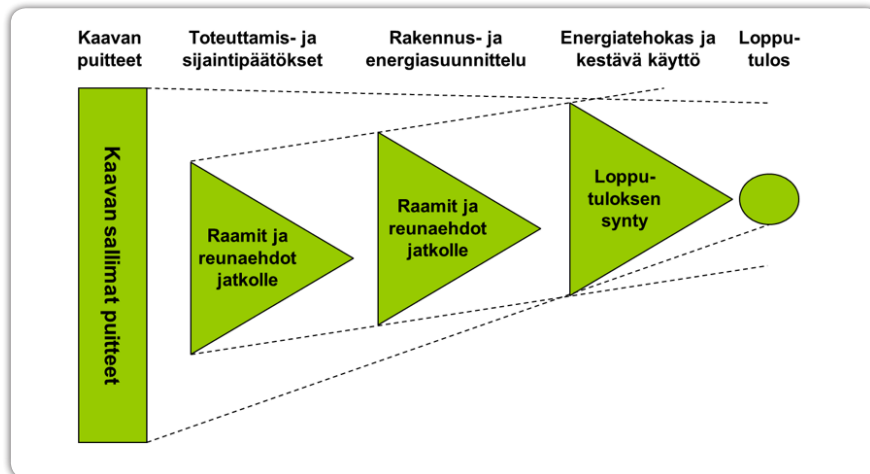
Toisaalta hyvällä muuntojoustavuudella on usein saavutettu sekä talouden, ympäristön että arkkitehtuurin kannalta hyviä tuloksia. Esimerkkinä voidaan mainita esim. Tampereen Finlaysonin alueen teollisuusrakennusten uusiokäyttö erityyppisinä toimisto- ja liiketiloina, tai erilaisten tuotantorakennusten käyttö asuinrakennuksina, esim. Helsingin Radiotehdas. Vanhat teollisuuskiinteistöt eivät pääse energiatehokkuudeltaan uusia rakennuksia vastaavaan tasoon, mutta tarjoavat toisaalta arkkitehtuurisia arvoja alueelleen. Vanhojen rakennusten etuna on myös se, että niiden rakentamisesta ei enää synny (uusia) rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjä niiden mahdollista korjaustarvetta lukuunottamatta.

Ympäristövaikutuksiin vaikuttaminen hankkeen eri vaiheissa

Useimmissa tapauksissa kaava tulee rakennuttajalle annettuna. Hyvä kaavoitus voi pienentää yhdyskunnan energiantarvetta, mutta rakennuttaja voi harvoin vaikuttaa asiaan. Rakennuttajalle jäävät toteutus- ja sijaintipäätökset sekä energiatehok-

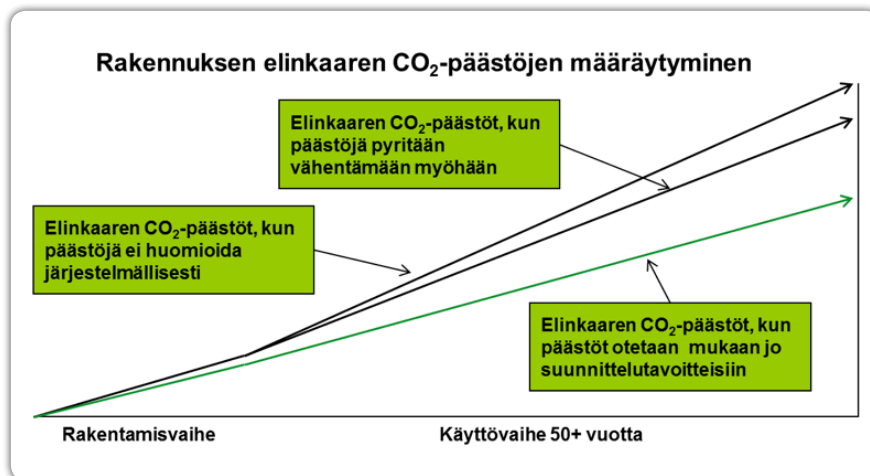
3.4

kaan rakennuksen suunnittelu ja toteuttaminen. Vaiheet etenevät aina edeltävän vaiheen rajaamissa puitteissa.



Rakennushankkeen vaiheet rajaavat seuraavien vaiheiden vaikutusmahdollisuuksia

Edeltävästä seuraa, että mitä aiemmin päästötötehdokkuus otetaan mukaan hankkeen tavoitteisiin, sitä edullisemmin ja tehokkaammin tähän tulokseen päästään. Tätä on havainnollistettu alla. Etenkin omaan taseeseensa rakennuttava taho kontrolloi rakennuksen käyttöä ja ylläpitoa elinkaaren aikana, ja suunnittelun varhainen optimointi on perusteltua.



Elinkaaren päästöjen määräytyminen päästöjen varhaisen huomioon perusteella

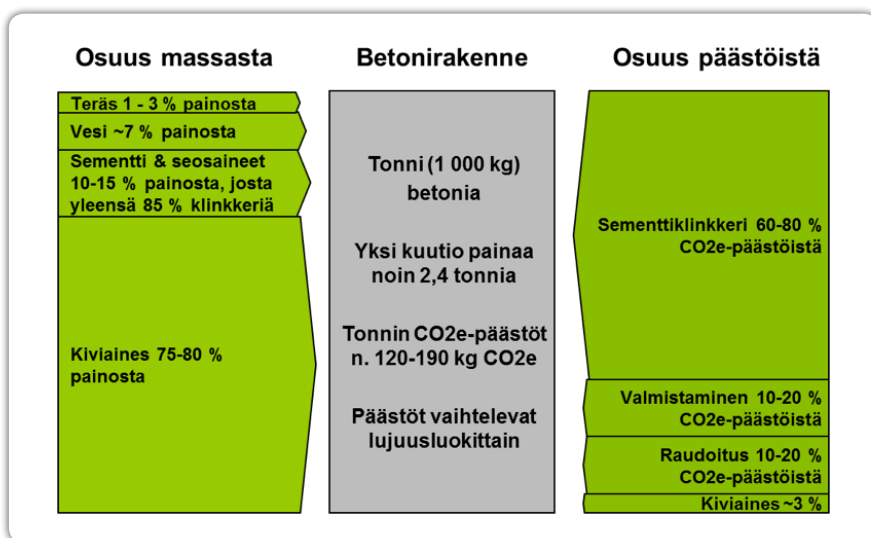
Betonin ja sen raaka-aineiden ilmastovaikutus

4.1

Betoni on maailmanlaajuisesti veden jälkeen toiseksi käytetyin aine¹⁾. Betonia käytetään infra-, teollisuus-, toimitila- ja asuinrakentamisessa. Betonilla on käyttöä myös rakenteissa, joiden korvaaminen elinkaaren aikana ei ole mahdollista: esimerkiksi vesirakenteet, kuten padot, ja perustukset vaativat materiaalia, joka kestää koko rakenteen elinkaaren ajan.

Betonin tärkeimmät raaka-aineet ovat kiviaines, sementti, vesi sekä seos- ja lisäaineet. Betoni lujitetaan raudoittamalla rakenne teräksellä. Betonin sidosaine on sementti, jonka osuus betonin painosta vaihtelee asuinrakentamisessa välillä 10–15 %, lujuusluokasta riippuen. Asuinrakennusten rungossa käytettävästä betonista teräksen osuus vaihtelee välillä 1 - 3 %.

Sementtiä valmistettiin vuonna 2010 maailmassa 3 300 miljoonaa tonnia, josta yli puolet Kiinassa²⁾. Tuotantomäärästä ja päästöintensiteetistä johtuen noin 5 % globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä vuonna syntyy sementin valmistuksesta. Suomessa sementin osuus kasvihuonekaasupäästöistä on alle 1,5 %. Suomessa käytetystä sementistä noin kolme neljäsosaa valmistetaan Suomessa. Sekä sementin, tiilen että teräksen valmistuksen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä säännellään EU:n päästökauppamekanismeilla.



Betonirakenteen raaka-aineiden osuus rakenteen massasta ja CO2e-päästöistä

Ylläoleva esimerkki koskee tyypillisen asuinrakentamisen betonirakenteita. Betonin hiilijalanjälki riippuu käytetyn betonin lujuus- ja säilyvyysvaatimuksista, valmistustavasta ja muista ominaisuuksista. Lujuusluokka määrittää sementin ja lisäaineiden tarpeen.

Betonirakenteen päästöintensivisimmät raaka-aineet ovat sementin sisältämä klinkkeri ja rauditus. Näin ollen betonin ilmastovaikutuksia voidaan tehokkaimmin pienentää vähentämällä sementin ja raudituksen käyttöä ja käyttämällä vähäpäästöisempää sementtiä ja raudoitusta. Erityisen tehokas tapa vähentää päästöjä on pienentää klinkkerin käyttöä.

Sementtiklinkkerin valmistus tuottaa 800 kg CO2e-päästöjä / tn klinkkeriä. Suurin osa päästöistä, noin 500 kg CO2e / tn klinkkeriä syntyy kalsinaatioprosessissa, kun kalkkikivi vapauttaa sementtiuunissa hiilidioksidia. Loput päästöistä syntyvät jauhatuksesta, prosessista ja polttoaineiden hankinnasta ja poltosta. Osa vapautuneesta hiilidioksidista sitoutuu takaisin betoniin karbonatisoitumiseksi kutsutussa prosessissa.

1) World Business Council for Sustainable Development: Cement Sustainability Initiative
2) United States Geological Survey: USGS Mineral Program Cement Report. (Jan 2011)

Maailman terästuotanto vuonna 2010 oli 1 100 miljoonaa tonnia, josta noin 51 % käytettiin rakenteiden vahvistamiseen, teräsrakenteina, rakennuskoneina ja laitteina. Maailman terästuotannon osuus globaaleista kasvihuonekaasupäästöistä v. 2010 oli noin 6,5 %³⁾.

Terästä valmistetaan sekä malmista masuunissa että teräsromusta valokaariuunissa. Kierrätysmateriaalin käyttö keventää teräksen päästötasoa huomattavasti. Eurooppalaisen neitseellisen teräksen keskimääräinen päästötaso on luokkaa 2 900 kg CO₂e-päästöjä / tn terästä, kun taas kierrätysteräksen päästötaso on alle neljäsosa tästä, 470 kg CO₂e-päästöjä / tn terästä. Suomessa raudoituksessa on korkea kierrätetyn raaka-aineen osuus niissä teräslaaduissa, joissa kierrätysterästä voidaan rakennusmääräysten puitteissa hyödyntää.

Tiilen ja sen raaka-aineiden ilmastovaikutus

4.2

Betonin lisäksi tiili on merkittävä rakentamisen kivimateriaali. Maailman tiilituotannosta kaksi kolmasosaa keskittyy Kiinaan ja Intiaan. Maailmassa tuotettiin noin 1 600 miljardia tiiltä vuonna 2008⁴⁾. Suomen tiilituotannon volyymi vuonna 2011 oli 36,7 miljoonaa tiiltä⁵⁾ ja sen osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä alle 0,05 prosenttia.

Tiilen tuotantovolyyymi on huomattavasti betonia vähäisempi. Suurin osa tiilen kysynnästä syntyy julkisivuista, kattopinnoitteista ja pihojen ja katujen pinnoista. Tiiltä voidaan kuitenkin hyödyntää rakentamisessa monipuolisesti runkorakenteista lattiapintoihin.

Tiilen raaka-aineita ovat savi, hiekka, puru ja tarvittaessa lisäaineet. Tiilet muurataan paikoilleen laastilla. Tiilet valmistetaan kuivaamalla tiiliihiot ja polttamalla ne koviksi tunneliuunissa. Tiilen polttaminen on erittäin energiantensiivistä toimintaa, ja suomalaiset tiilitehtaat käyttävät energianlähteenä joko polttoöljyä tai maakaasua. Tiilenvalmistuksen keskimääräisenä päästötasona voidaan pitää noin 230-240 kg CO₂e-päästöjä / tn tiiliä. Valmistuksen päästöjen lisäksi tulee tiilirakenteessa huomioida myös laastin päästöt.

Kivirakenteiden ympäristösuorituskykyä parantavat ominaisuudet

4.3

Kivirakenteet vaativat valmistusvaiheessa paljon energiaa ja aiheuttavat näin ollen päästöjä. Toisaalta kivirakenteiden tekniset ominaisuudet voivat parantaa niiden käytön aikaista ympäristösuorituskykyä, kohteen tarpeista ja ominaisuuksista riippuen.

Alla olevassa taulukossa on tiivistetty kivirakenteiden asuinkerrostalojen käytön ajan päästöjä potentiaalisesti vähentäviä ominaisuuksia. Ominaisuudet on esitelty tarkemmin jäljempänä. Betoni sitoo hiilidioksidia elinkaaren aikana rakenteisiinsa.

Ominaisuus	Vaikutustapa
Kivirakenteiden termien massa (4.3.1)	Toimii lämpövarajana: sitoo lämpöä kuumana aikana ja vapauttaa sitä kylmänä aikana vähentäen lämmitys- ja jäähdytystarvetta..
Muuntelua helpottavat pitkät jännevälit (4.3.2)	Vähentää kantavien sisäseinien määrää: muunneltavuus helpottuu, mikä lisää käyttöastetta ja vähentää remonttien materiaalipäästöjä..
Ohuet välipohjat (4.3.3)	Pienentävät ulkoseinän pinta-alaa alentamalla kerroskorkeutta.
Ilmanpitävyys (4.3.4)	Kivirakenteilla ilmanpitävyys säilyy koko elinkaaren ajan.
Karbonatisaatio (4.3.5)	Betoni sitoo hiilidioksidia elinkaaren aikana rakenteisiinsa.
Kestävyys	Tarjoaa mahdollisuuden rakentaa pitkäikäisiä rakennuksia, jos rakennuksen laatu- ja esteettiset tekijät sallivat sen pitkän käytön. Kivimateriaalit ovat kestäviä mm. julkisivuina.

3) World Steel Association

4) Xiaoheng Wang: Environmental Pollution from Rural Brick-making Operations...

5) Wienerberger

Kivirakenteiden terminen massa

4.3.1

Lämpöä hyvin sitovista materiaaleista tehdyt rakenteet varastoivat lämmön päivällä ja yöllä luovuttavat sitä käyttöön. Tämä toimii myös kuumana aikana, jolloin rakenteet sitovat lämpöä pitäen huoneilman viileänä. Lämpöä hyvin sitovia materiaaleja ovat betoni, tiili ja kivi. Merkittäviä varastoitavan lämmön lähteitä ovat kodin laitteiden ja valaistuksen, asukkaiden sekä auringon tuottamat lämpökuormat.

Termistä massaa voidaan hyödyntää joko passiivisesti tai aktiivisesti. Aktiivisessa hyödyntämisessä ylimääräistä lämpöä tai viileyttä varastoidaan rakenteisiin ja energia puretaan takaisin huoneilmaan haluttuna ajankohtana. Aktiivinen varastointi mahdollistaa lämpötilan tarkemman hallinnan, mutta se kuluttaa puolestaan energiaa prosessissa.

Termisen massan hyödyntämiseen vaikuttavat massojen määrä ja pinta-ala sekä pinnoitukset ja muut lämmönsiirtoon vaikuttavat tekijät. Terminen massa, joka sijaitsee eristeen ulkopuolella, ei olennaisesti osallistu rakennuksen sisälämpötilan muodostumiseen.

Lämpötilalouden hallintaan tarvittavan termisen massan määrä ei ole kuitenkaan suuri. Jo kevytrakenteisen talon massiivinen lattia riittää lämpövarastoksi, jos sen vuorovaikutusta ei estetä eristämällä sitä huoneilmasta muilla materiaaleilla. Kerrostalossa termisenä massana voivat toimia mm. välipohjat, ulkoseinien sisäkuoret, sekä betoniset väliseinät.

Lämpöä varastoivan ja luovuttavan massan tulisi olla eteläpuolen huoneissa 1 500 -5 000 kg ikkunaneliötä kohden⁶⁾, jotta auringon säteilyn lämpökuormaa voidaan tasata vuorokauden aikana. Toisaalta mahdolliset hellejaksot ja laitteiden ja asukkaiden lämpökuorma lisäävät lämpötilan nousua hidastavan termisen massan tarvetta merkittävästi.

Rakennuksen sisäistä lämpökuormaa voidaan hyödyntää materiaalien valinnalla ja huoneiden sijoituksella. Lämpöä tuottavat tilat, kuten sauna ja keittiö, on perusteltua sijoittaa niin, että niiden lämpö pystyy varastoitumaan rakenteisiin ja leviämään sitä kautta muihin tiloihin. Tämä vähentää rakennuksen ulkoisen lämmityksen tarvetta.

Alla oleva taulukko esittää massiivisen rakenteen tuottaman energiansäästön verrattuna kevyeen rakenteeseen Suomen olosuhteissa sijaitsevassa kerrostalokohteessa⁷⁾:

Energialuokka	Energia ratkaisu	Lämmitys kWh/m ² a	Jäähdytys kWh/m ² a	Yht. kWh/m ² a
Norni 2008	Kaukolämpö, kon. jäähdytys	-0,87	-0,72	-1,6
Normi 2008	Maalämpöpiiri lämp. +jäähd.	-0,30	-0,07	-0,4
Passiivi	Kaukolämpö, kon. jäähdytys	-0,76	-0,54	-1,3
Passiivi	Maalämpöpiiri lämp. +jäähd.	-0,26	-0,05	-0,3
Passiivi+yöviilennys	Kaukolämpö, kon. jäähdytys	-0,75	-2,23	-3,0
Passiivi+yöviilennys	Maalämpöpiiri lämp. +jäähd.	-0,25	-0,22	-0,5

Yöviilennys keventää päivän aikana tarvittavaa jäähdytystä myös kevytrakenteisessä rakennuksessa, mutta massiivisempi ja paremmin lämpöä varaava kivirakenus kykenee varastoimaan suuremman määrän jäähdytysenergiaa. Toisin sanoen yöviilennys toimii tehokkaammin kohteessa, jossa termistä massaa on enemmän.

Toisaalta tekemällä tehokas varjostus voitaisiin potentiaalisesti koko jäähdytystarve välttää niin kevyt- kuin massiivirakenteisessakin rakennuksessa. Tällöin säästöä jää lämmityksestä. Tämän vuoksi yöviilennyksen tuomaan lisähyötyyn on perusteltua suhtautua varauksella.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää noin prosentin suuruusluokan säästöä kaukoläm-

6) VTT: Passiivitalon arkkitehtisuunnittelu ja SQUARE – Laatujärjestelmä muutettaessa asuinkerrostaloja energiatehokkaiksi.

7) Rakennuksen lämmöneristystaso ja terminen massa muuttuvassa ilmastossa, Aalto-yliopisto, Energiatekniikka

pökohteissa lämmitys- ja jäähdytysenergian osalta. Maalämpöä hyödynnettäessä ostoenergian määrässä syntyvä säästö jää pienemmäksi lämpöpumpun edullisen hyötysuhteen vuoksi. Lähes nolla- ja nollaenergiataloilla termisen massan tuoma hyöty kasvaa, kun auringon ja asukkaiden tuottamat lämpökuormat voidaan hyödyntää päivän kylmimpänä aikana.

Muissa asiaa käsittelevissä tutkimuksissa on päädytty myös suurempiin energiansäästöihin. Tässä on käytetty lähteenä Aalto-yliopiston Energiatekniikan laitoksen tekemä tutkimusta, koska se kuvastaa massiivisuuden vaikutusta energiatehokkuudessa uudisrakennuksissa, ja toisaalta koska tuloksista on pystytty erottamaan sellainen energiansäästö, joka voitaisiin saavuttaa osin esim. varjostuksella tai muilla tekijöillä kuin termisellä massalla.

Rakennuksen ja tilojen muuntojoustavuus

Betonirakenteet mahdollistavat pitkän jopa 18 metrin jännevälän. Muunneltavuuden kannalta kannattaa pyrkiä laajoihin yhtenäisiin tiloihin, joita voidaan jakaa kevytrakenteisilla väliseinillä joustavasti tarpeen mukaan. Tämä parantaa rakennuksen käyttöastetta ja vähentää materiaali- ja energiapanoksia, joita tarvitaan, jos tiloja tai käyttötarkoitusta muutetaan.

Jos asuntokokoa tulevaisuudessa voidaan muuttaa joko yhdistämällä tai jakamalla asuntoja, on hyvä huomioida tämä jo suunnitteluvaiheessa, jotta tarvittavat ratkaisut on edullisempaa toteuttaa niitä tarvittaessa. Asuinrakentamisessa muuntojoustavuuden tarve ei ole tyypillisesti yhtä suuri kuin toimitilaratkaisujen osalta, mutta myös asuinrakennukselle voi tulla eteen käyttötarkoituksen muutos ja konversio esim. toimistorakennukseksi.

Runkomateriaalin vaikutus ulkopinta-alaan

Betonin mahdollistama pitkä jänneväli mahdollistaa kuutiomaisemmat rakenteet, joissa ulkoseinän pinta-ala voi olla pienempi. Ulkovaipan pinta-alan pienentäminen suhteessa asumisalaan pienentää myös vaipan kautta tapahtuvaa lämpöenergian häviötä.

Lisäksi betonin etuna ovat ohuemmat välipohjat, joiden ansiosta sama tilavuus voidaan tarjota asukkaiden käyttöön matalammassa rakennuksessa, jolla on myös pienempi ulkovaipan pinta-ala. Tämä voi vähentää ulkovaipan kautta tapahtuvaa lämpöhäviötä.

Lisäksi tontilla, jossa kaava rajoittaa rakennuksen räystäskorkeutta, ohuet välipohjat voivat parhaimmillaan mahdollistaa yhden ylimääräisen kerroksen rakentamisen suhteessa paksumpiin välipohjiin. On syytä huomata, että tämä kilpailuetu ei ole rakenteellinen, vaan jos muista materiaaleista kehitetään ohuempia välipohjaratkaisuita, katoaa etumatka tältä osin.

Ontelolaattaan perustuva välipohja saavuttaa samat akustiikka- ja värähtelyominaisuudet hieman ohuemmalla rakenteella kuin puurakenteeseen perustuva välipohja. Jos molemmissa rakennuksissa tarjotaan asukkaalle sama vapaa sisäkorkeus, seuraa tästä puurakennuksen kerroskorkeuden kasvu, josta puolestaan seuraa suurempi lämpöhukka ulkoilmaan.

Ominaisuus	Betonivälipohja	Puuvälipohja
Välipohjan kerrokset	Ontelolaatta 320 mm, pintarakenne, tai myös massiivibetonilaatta 300 mm	Puupalkit 405 mm, kipsilevy 2 x 15 mm, betonivalu 60 mm
Välipohjan paksuus	340 mm	495 mm
Kerroskorkeus 265 cm vapaalla sisäkorkeudella	3,00 metriä	3,15 metriä

Välipohjan paksuudesta syntyvä korkeusero on noin 0,15 metriä per kerros⁸⁾. Käytettäessä puuvälipohjia rakennuksen ulkoseinäpinta-ala kasvaa siis seuraavan kaavan mukaisesti:

*Säästetty ulkoseinän pinta-ala = kerrosluku * 0,15 metriä * ulkoseinän yhtenäinen pituus*

4.3.2

4.3.3

8) PuuEra-puukerrostalon kerroskorkeuden ero, Rakennusliike Reponen Oy

Esimerkin kuusikerroksisen palvelurakennuksen osalta, jonka ulkoseinän korkeus betonisena on noin 18,3 metriä, tämä tarkoittaisi 0,9 metrin eli 5 prosentin lisäkorkeutta. Rakennuksen ulkoseinän yhtenäinen pituus on noin 143 metriä, joten tämä tarkoittaisi noin 130 m² suurempaa ulkoseinän pinta-alaa ja tätä vastaavaa ulkoseinämateriaalien kysyntää.

Ulkoseinäpinta-alan kasvattaminen ei ole energiataloudellisesti toivottavaa. Tämän täsmällistä vaikutusta päästöihin on kuitenkin vaikeaa arvioida, koska välipohjan kanssa kosketuksissa oleva ulkoseinä ei luovuta lämpöä ulos rakennuksesta yhtä tehokkaasti kuin suoraan lämpimien sisätilojen kanssa kosketuksissa oleva ulkoseinä.

Vaipan ilmanpitävyyden taso ja kestävyys

Kaikilla rakennusmateriaaleilla on mahdollista saavuttaa hyvä ilmanpitävyys. Kivirakenteilla ilmanpitävyys ei heikkene olennaisesti rakennuksen ikääntyessä. Lisäksi valurakenteilla rakenne on luontaisesti tiivis, koska se ei sisällä saumoja tai liitoksia.

Tampereen teknillisen yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun tekemässä tutkimuksessa⁹⁾ mitattiin olemassa olevien pientalojen ja kerrostaloasuntojen ilmanpitävyyttä. Tutkimuksessa mitattiin vuosina 1997-2006 valmistuneiden kerrostaloasuntojen ilmanpitävyyttä, ja tutkimukseen valittiin kohteita, jotka edustavat kaikkia yleisimpiä rakennusmateriaaleja.

Tutkimuksen mukaan kerrostaloasuntojen ilmanvuotoluku on pienempi kuin pientaloilla keskimäärin. Tutkittujen betonielementtitaloasuntojen ilmapuotoluvun keskiarvo oli 1,6 l/h ja puukerrostaloasuntojen 2,6 l/h. Lisäksi keskimäärin pienimmät ilmanpitävyytulokset (0,7 l/h) saatiin kerrostaloasunnoissa, joissa oli paikalla valettu välipohja. Talotyyppien sisällä oli kuitenkin hajontaa ja hyvään ilmanpitävyyteen päästiin kaikissa talotyypeissä.

Rakennuksen ilmanvuotoluvun pienentyessä yhdellä säästyy noin 4 % lämmitysenergiaa. Toisin sanoen, jos saatuja tutkimustuloksia vastaavan kehityksen voidaan olettaa toteutuvan myös muiden uusien rakennusten ilmanvuotoluvun osalta, betonirakennuksissa ilmanpitävyys tuottaa merkittävän energiataloudellisen hyödyn.

Betonirakenteisiin käytön aikana sitoutuva hiilidioksidi

Kalsinaatiossa sementtiklinkkeristä vapautuu noin 500 kg CO₂e / tn klinkkeriä. Vapautumisreaktio on luonteeltaan palautuva, eli betonilla on kyky sitoa vastaava määrä hiilidioksidia takaisin rakenteisiinsa. Hiilidioksidin sitoutumista betoniin kutsutaan karbonatisoitumiseksi ja reaktion nimi on karbonatisaatio.

Ulkorakenteissa karbonatisoituminen ei ole toivottavaa betonin teknisten ominaisuuksien kannalta, koska karbonatisoitunut betoni ei enää suojele raudoitusta korroosiolta. Toisaalta rakennuksen sisä rakenteissa karbonatisoitumisesta ei ole lainkaan haittaa, ja hiilidioksidin sitoutumista näihin rakenteisiin voidaan pitää toivottavana päästöjen vähentämiseksi.

Jos betoni on tekemissä ilman kanssa, pitkällä aikajänteellä karbonatisaatio tapahtuu täydellisesti. Laskentamalleissa karbonatisoitumisaste rajataan kuitenkin 75 % täydellisestä karbonatisaatiosta mittausteknisistä syistä¹⁰⁾. Toisaalta myös aikajänteellä on merkitystä, koska kasvihuonekaasupäästöjen syntyä pitäisi ilmaston muutoksen näkökulmasta pystyä rajoittamaan mahdollisimman pian.

Eri betonilajit sitovat hiilidioksidia eri nopeudella. Ulkorakenteissa käytetyn betonin koostumus on suunniteltu sellaiseksi, että se suojaaa raudoitusta ulkoilman vaikutuksilta. Vesi ja ilma pääsevät huonosti tällaisen betonin sisään, mikä suojaaa raudoitusta korroosiolta. Sisäseinät eivät altistu ulkoilmalle ja tämän vuoksi sisäseinien vaatimukset betonin tiiveydelle eivät ole yhtä suuret. Sisätiloissa ilman hiilidioksidipitoisuus on ihmisten hengityksen vuoksi korkeampi. Näiden tekijöiden vuoksi sisätiloissa oleva betoni sitoo enemmän hiilidioksidia.

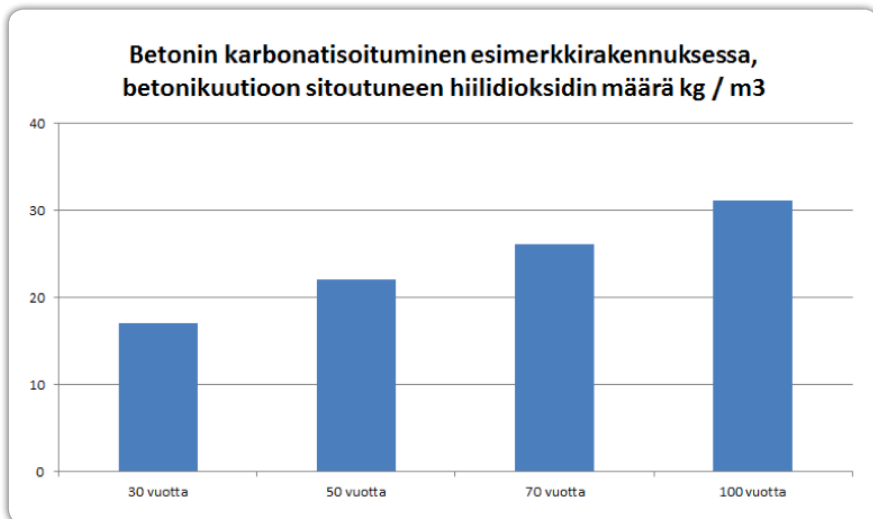
4.3.4

4.3.5

9) Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 140

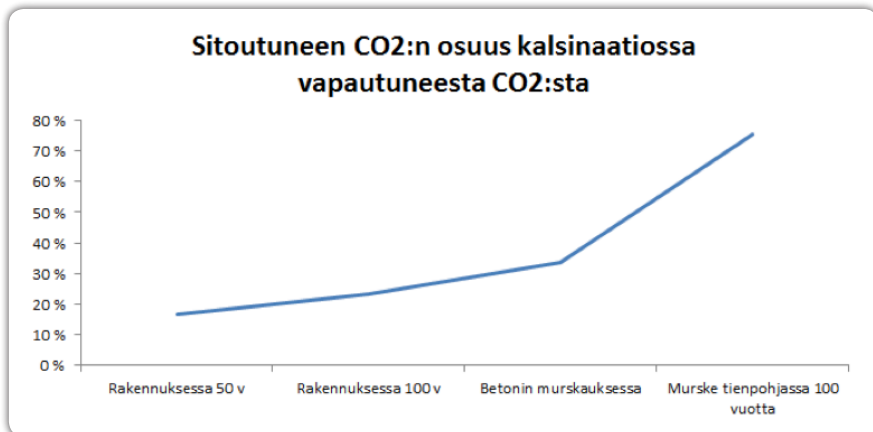
10) Carbon dioxide uptake during concrete life cycle - state of the art, Swedish Cement and Concrete Research Institute

Betonin käsittelyllä elinkaaren loppuvaiheessa on suuri merkitys hiilidioksidin sitoutumis-nopeuteen. Murskauksessa betonin ulkopinta-ala kasvaa merkittävästi ja karbonatisaatio pääsee nopeasti etenemään suureen osaan betonin tilavuudesta. Jos betonirakenteita loppusijoitetaan kokonaisina, voi karbonatisaatio jatkua vuosisatojen ajan, hyvin hitaasti. Alla on esitetty esimerkkirakennukseen käytön aikana sitoutuvan CO₂:n määrä ajan funktiona.



Betonin karbonatisoituminen esimerkkirakennuksessa käyttöajan funktiona

Hiilijalanjälkilaskentaa tekevien tulee huomioida, että EN 15978-standardin mukaisessa päästölaskennassa karbonatisaatio käytön aikana voidaan huomioida rakennuksen päästöissä, mutta purkamisen jälkeinen vaikutus voidaan ilmoittaa vain lisätietoina. Alla on havainnollistettu karbonatisaation nopeutta rakennuksessa ja purkamisen jälkeen.



Betoniin karbonatisoituneen hiilidioksidin osuus vapautuneesta CO₂:sta

Vähähiilisen betonin käyttäjien tulee huomioida, että mitä vähemmän klinkkeriä betoni sisältää, sitä vähemmän karbonatisoitumispotentiaalia myös itse betonilla on.

Suunnittelija, arkkitehti ja etenkin suunnittelun tavoitteet asettava rakennuttaja voivat valinnoillaan vaikuttaa rakennuksen ympäristötehokkuuteen materiaaleista riippumatta. Alla on koostettu lyhyesti tärkeimmät materiaalista riippumattomat valinnat, jotka on kuvattu tarkemmin myöhemmin tekstissä. Kivimateriaalin hyödyntämistä koskeviin valintoihin liittyviä suunnittelijan vaikutusmahdollisuuksia kuvataan erikseen seuraavassa kappaleessa.

Valinta	Vaikutustapa
Rakennuksen tarve ja käyttöikä (5.1)	Rakennuksen pitkäjänteinen tarve ja muunneltavuus varmistavat, että rakennus voidaan hyödyntää käyttöikänsä loppuun saakka.
Sijainti ja käyttäjien tarpeet (5.2)	Sijainti vaikuttaa mm. liikennemuodon valintaan, päivittäisten matkojen pituuteen, sekä palveluiden saavutettavuuteen.
Massoittelu ja vaipan energiahukka (5.3)	Rakennuksen massoittelu vaikuttaa huomattavasti ulkopinta-alaan ja tätä kautta vaipan kautta tapahtuviin lämpöhäviöihin.
Energiatehokas suunnittelu (5.4)	Rakennuksen energiatehokas suunnittelu hyödyntää aurinkoenergian ja mini-moi lämpöhäviöt rakennuksessa.
Lämmitys- ja energiaratkaisut (5.5)	Energiaratkaisut ovat kaikkein merkittävin tekijä normaalin asuinkerrostalon elinkaaren CO ₂ -päästöjen kannalta.
Energiatehokas ja kestävä käyttö (5.6)	Myös rakennuksen asukkailla sekä teknisillä käyttäjillä, kuten isännöitsijällä, on merkittävä mahdollisuus vaikuttaa kulutukseen.

Rakennuksen pitkäjänteinen tarve ja käyttöikä

5.1

Rakennuksen tarvetta selvitetessä ympäristövaikutusta alentavat rakennuksen pitkäjänteiseen tarpeeseen ja sopivuuteen liittyvän riskin minimointi, ja muuntojoustavuus, esim. mahdollistamalla tilan jakaminen eri tavoin ja käyttötarkoituksen muunneltavuus.

Samat tekijät vaikuttavat myös kiinteistön taloudelliseen riskiin. Rakennus rakennetaan useimmiten tiettyä käyttöä varten, mutta vaikka tarkoitus ei olekaan rakentaa valmiita monikäyttörakennuksia, muuntojoustavuus kannattaa huomioida suunnitteluvaiheessa. Muuntojoustavuuden lisäksi rakennuksen tulee kestää vaaditun käyttöiän loppuun saakka.

Asuinrakennusten tarpeeseen liittyvät riskit liittyvät mm. muuttoliikkeeseen, asuntomuodon kysyntään ja väestörakenteeseen sekä asuinalueen haluttavuuteen ja saavutettavuuteen. Tuotantorakennuksilla rakennuksen kysyntä liittyy mm. monikäyttöisyyteen ja alueelliseen kilpailukykyyn sekä tuotannollisten yritysten haaluun sijoittua alueelle.

Rakennuksen sijainti ja käyttäjien tarpeet

5.2

Rakennuksen sijainti on merkittävä päästöjä ohjaava tekijä seuraavista syistä:

- saavutettavuus ja sitä kautta matkustamisetäisyys vaikuttaa liikenteen päästöihin,
- asumistiheys ja sitä kautta alueelle syntyvä joukkoliikenteen tarjonta, ja
- valitun tontin maaperän laatu ja sen aiheuttama louhinnan, paalutuksen, maansiirron ja mahdollisen pilaantuneen maan kunnostamisen tarve.

Joukkoliikenteen saavutettavuus ja tarjolla olevat pysäköintipaikat ohjaavat asukkaiden oman auton käyttöä. Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksen mukaan yhden auton kotitaloudet ajavat autolla vähemmän kuin muuten vastaavat kahden auton kotitaloudet. Puolilämpimät tai lämmitetyt autopaikat tai -tallit lisäävät rakennuksen energian kulutusta.

Lisäksi rakennuksen käyttäjien tarpeet esimerkiksi esteettömän liikkumisen ja palveluiden saavutettavuuden osalta on huomioitava sijaintia valittaessa.

Rakennuksen massoittelu ja ulkovaipan johtumisenergia

5.3

Massoittelulla on merkittävä vaikutus rakennuksen ulkovaipan pinta-alaan ja sitä kautta lämmitysenergian tarpeeseen. Umpikorttelit ovat erittäin energiatehokas rakennusmuoto.

Rakennuksen kuutiomainen massoittelu vähentää lämmitysenergian kulutusta merkittävästi. Tutkimusten mukaan kerrostalon, jossa tilavuuden suhde vaipan pinta-alaan on 0,3, energiankulutus on jopa 15 % rivitaloa pienempi. Toisaalta, hyvin eristetyssä talossa muodon vaikutus ei ole enää yhtä merkittävä, kun eri rakennosien ja liitosten kylmäsiltaikutukset on otettu huomioon jo suunnittelussa.



Töölön umpikortteleita.
Kuvaaja Joni Karppinen

Esimerkki rakennuksen ulkovaipan pinta-alan ja energian kulutuksen suhteesta:

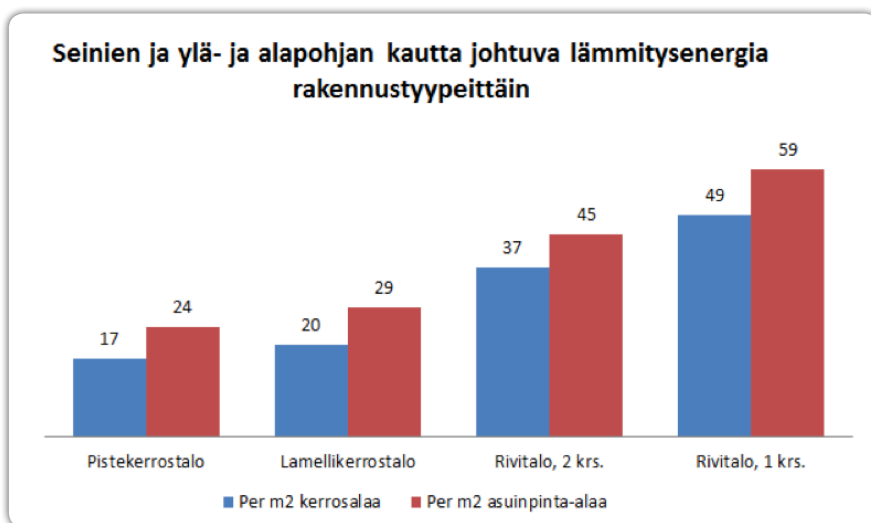
Alla oleva taulukko esittää samoilla eristävyysarvoilla mutta eri tavoin massoitelluilla rakennuksilla lasketun lämpöenergian vuodon rakenteiden kautta rakennuksen kerrosalaa kohti. Erot ovat huomattavia, mutta toisaalta massoittelu vaikuttaa vain lämpöenergiaan. Taulukko ei huomioi ikkunoiden ja ovien kautta tapahtuvaa energian johtumista.

	Pistekerrostalo	Lamellikerrostalo	Rivitalo, 2 krs.	Rivitalo, 1 krs.
Kerrosluvu	6 kerrosta	3 kerrosta	2 kerrosta	1 kerros
Leveys&pituus m	28,1 x 15,9	56,3 x 15,9	31,7 x 7,5	31,7 x 9,1
Ulkovaippa m ² ¹¹⁾	2 087	2 769	832	759
Kerrosala m ²	2 442	2 442	422	261
Kerros-/as. ala ¹²⁾	1,4	1,4	1,2	1,2
As. pinta-ala m ²	1 744	1 744	352	218
Vaippa / as. ala	1,2	1,6	2,4	3,5
Johtuminen kWh / m ² kerros / v ¹³⁾	17	20	37	49
Johtuminen kWh / m ² asuin / v	24	29	45	59

Tuloksesta nähdään, että seinien ja ylä- ja alapohjan kautta tapahtuva lämmön johtuminen ulkoilmaan yli kaksinkertaistuu siirryttäessä kerrostalosta yksikerrokseen rivitaloon.

- 11) Ulkoseinät ja ylä- ja alapohjat.
Seinistä vähennetty 25 % pinta-alasta ikkunoiden ja ovien osuutena.
- 12) Bruttoalan ja asuinpinta-alan väliset suhdeluvut: Ympäristöministeriö.
- 13) Laskettu Jyväskylän lämpöolosuhteissa rakennusmääräyskokoelman 2010 eristysvaatimuksilla.

Tulokset on havainnollistettu seuraavassa kuvaajassa sekä kerros- että asuinpinta-alalle.



Esimerkkirakennusten seinien ja ylä- ja alapohjan kautta johtuva lämmitysenergia

Ovien ja ikkunoiden osuus johtumisenergiasta on merkittävä osa energiataloutta, usein vähintään yhtä suuri kuin muiden rakenteiden kautta tapahtuva johtuminen. Näitä ei ole huomioitu laskelmissa. Ikkunoiden sijoittelusta tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Energiatehokas arkkitehtuuri ja suunnittelu

Rakennuksen massoittelun lisäksi rakennuksen sijoittelulla ja suuntauksella on paljon merkitystä rakennuksen energiankulutuksen kannalta. Mahdollisuuksia rajaa luonnollisesti asemakaava sekä käytettävissä oleva tontti. VTT:n mukaan hyviä nyrkkisääntöjä ovat:

- Asuinalueen suuntaaminen etelään passiivisen aurinkolämmityksen tehostamiseksi,
- Etelänpuoleisten rinteiden varaaminen asuntorakentamiseen,
- Laaksomaisten rakennuspaikkojen välttäminen (yölämpötilat voivat olla alhaisempia),
- Matalien rakennusten sijoittaminen korkeampien eteläpuolelle tai kauas metsistä, ja
- Pihojen ja julkisten ulkotilojen aurinkoisuuden varmistaminen.

Energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa arkkitehtuurilla kuten rakennuksen muodolla, ulkoseinän pinta-alan ja ulkonevien osien minimoinnilla, rakennuksen aukkojen asemoinnilla ja pinta-alalla, aurinkosuojauksella sekä parvekelasituksella.

Ikkunoiden suuntaaminen etelään mahdollistaa auringon valon ja lämmön hyödyntämisen. Aurinko valaisee tilat, lämmittää ilman ja varastoi lämpöä tiloissa olevaan termiseen massaan. Tätä voidaan hyödyntää myös huoneiden sijoittelussa: tilat, joissa oleskellaan vähemmän, kuten sisäänkäynti, varasto, keittiö, kodinhoitaja- ja märkätilat voidaan sijoittaa pohjoisen puolelle. Tilojen rakentaminen yhtenäiseksi niin, että luonnonvaloa ei katkaista, tehostaa vaikutusta.

Englantilaisen tutkimuksen mukaan omakotitalon fasadin suuntaaminen länteen tai itään suurentaa tilan lämmitystarvetta noin 10 %¹⁴⁾. Toisin sanoen, passiivinen aurinkolämmitys pienentää lämmityksen energiantarvetta noin 10 %. Eteläsuuntaiset ikkunat eivät kuitenkaan pienennä kulutusta, jos tästä seuraa vastaava jäädytystarpeen kasvu. Toisaalta kesäaikaan auringon kuumuutta voidaan hallita esimerkiksi varjostuksella ja kasvillisuudella.

VTT:n mukaan hyvä nyrkkisääntö on, että kun talo varjostaa pohjoisen puolella olevan naapuritalon julkisivusta korkeintaan 50 % joulukuun 21. päivänä kello 14:00, on talojen etäisyys riittävän suuri auringon energian tehokkaalle hyödyntämiselle.

5.4

14) Passive Solar House Designs - The Farrans Study

Energiatehokas suunnittelu huomioi myös hyötypinta-alan ja tiloissa tarvittavan lämmityksen. Asuinkäytössä hyödynnettävän pinta-alan maksimointi ja muun tilan minimointi vähentää tukitilojen energiankulutusta. Aputiloissa lämpötila voidaan pitää alemmalla tasolla.

Ikkunoiden kokoa ei kuitenkaan kannata maksimoida energiatalouden kannalta. Liian korkeat ikkunat voivat aiheuttaa vetoisuuden tunnetta. VTT:n ohjeen mukaan ikkunan korkeus ei saisi ylittää 1,8 metriä ja ikkunoiden pinta-ala pitäisi säilyttää välillä 15 – 20 % kerrosalasta. Pohjoispuolella ikkunat voidaan mitoittaa selvästi pienemmiksi kuin eteläpuolella. Ikkunoita ei ole suositeltavaa sijoittaa lattian tasoon viihtyvyyden varmistamiseksi.

Parvekkeiden lasituksella voidaan saada aikaiseksi tuulikaappi, joka vähentää sekä kylmän että kuumien siirtymistä parvekkeen takana sijaitsevaan tilaan. Sisäänvedetyillä parvekkeilla lasituksen vaikutus on ulkonevia parvekkeita suurempi. TTY:n tutkimuksen mukaan parvekelasitus voi säästää takana sijaitsevan tilan lämmitysenergian tarvetta noin 5 %¹⁵⁾. Hyöty riippuu kuitenkin oikeasta käytöstä: talvella lasitusta on pidettävä kiinni ja kesällä auki.

Myös parvekkeilla ja muilla varjostavilla rakenteilla on merkitystä asuntojen jäähdytys-energian tarpeen vähentämisessä. Parvekkeet, leveät räystäät, katokset ja talon ulkopuoliset varjostukset ovat tehokkaita keinoja kesäajan aurinkolämpöä vastaan, mutta ne sallivat valon tulon talvella. Ikkunoiden varjostaminen leikkaa jopa 60 % auringon säteilytehosta¹⁶⁾.

Lämpötalouden hyvä suunnittelu ja toteuttaminen on mahdollista varsin kustannustehokkaasti. Hyvä eristäminen, laadukkaat ikkunat, ulkovaipan hyvä ilmanpitävyys ja tehokas ilmanvaihdon lämmön talteenotto parantavat rakennuksen energiatehokkuutta.

Kylmäsilat ja ilmapuodot voivat vaikuttaa merkittävästi talon energiatehokkuuteen. Niiden välttämiseksi voidaan käyttää esimerkiksi jatkuvia eristeitä, jolloin syntyy vähemmän saumoja, tai sijoittaa eristekerroksia päällekkäin. Erityisen merkittävää tämä on nurkissa ja kulmissa.

Ilmanvaihtokanavien lyhyt reititys on osa järjestelmän energiatehokkuutta ja niiden sijoitus on osa tilasuunnittelua. Arkkitehdin, LVI-suunnittelijan ja rakennesuunnittelijan tulee yhdessä varmistaa, että reititys saadaan pidettyä lyhyenä.

Kivitalojen suunnitteluohjeita energia-, akustiikka- ja muihin kysymyksiin löytyy verkosta mm. osoitteesta <http://www.kivitaloinfo.fi/tietoa-medialle/julkaisut/suunnitteluohjeet/>.

Lisäksi RIL on julkaissut aiheesta teoksen RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen, Asuinrakennukset (maksullinen). VTT:llä on useita aihetta koskevia, vapaasti ladattavia julkaisuja, mm. tässä siteerattu Passiivitalon arkkitehtisuunnittelu.

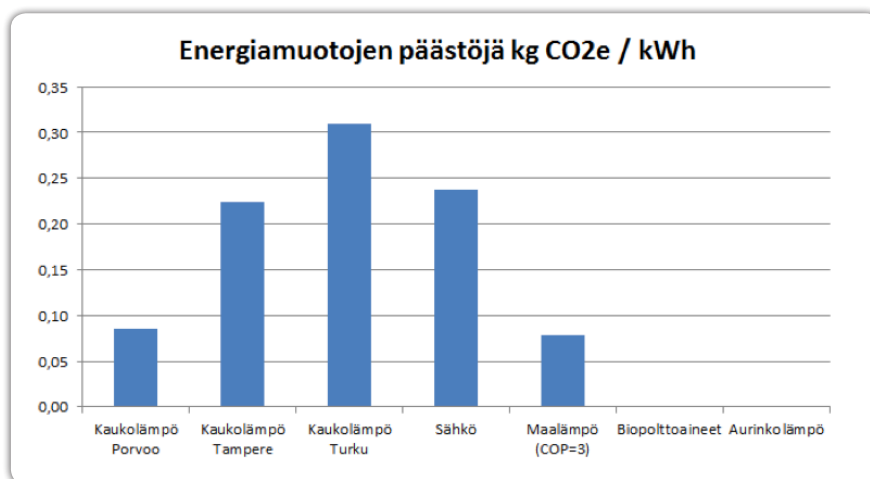
Lämmitys- ja energiantuotantoratkaisujen valinta

Asuinkerrostalon päälämmitysratkaisun vaikutus elinkaaren hiilipäästöihin on erittäin merkittävä (katso 3.2). Toisaalta kaupunkialueilla maalämmön hyödyntämistä rajoitetaan alueellisesti ja puuta hyödyntävän lämmitysjärjestelmän hankkiminen ei tule kysymykseen. Kaukolämmön päästöt vaihtelevat kaupunkikohtaisesti. Päästötasoa havainnollistetaan alla.

5.5

15) <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/energiatehokkuus/22689.html>

16) VTT: Passiivitalon arkkitehtisuunnittelu



Eri lämmitysratkaisujen ja energiamuotojen hiilidioksidipäästöjä (vain suorat päästöt).

Kuvaajassa esitetyt tiedot ovat yhtiöiden alkuperäselosteessa tai vuosikertomuksessa ilmoittamia päästökertoimia ja sähkön osalta arvo on useamman vuoden keskiarvo. Esitetyt päästökertoimet edustavat palamisen suoria päästöjä, eivät energian elinkaaripäästöjä. Suorat päästöt tarkoittavat piipun päästä mitattavia kasvihuonekaasupäästöjä, ja elinkaari-päästöt tarkoittava päästöjä, joissa huomioidaan myös polttoaineen tuotantoketjun päästöt. Myös biopolttoaineiden hankintaketjusta syntyy päästöjä, ja samoin aurinkoenergian hyödyntämisessä tarvittavien laitteistojen valmistuksesta, toimituksesta ja huollosta.

On huomattava, että rakennusmääräyskokoelman D3 2012 mukaiset energiamuotojen kertoimet eivät ole sama asia kuin lämmitysmuotojen CO₂-päästöt.

Jos kattorakenteet suunnitellaan niin, että niihin saadaan suoraan asennettua aurinkokeräimet lämpimän käyttöveden tuotantoa varten, voidaan tällä vähentää veden lämmityksen energiantarvetta jopa 70 %. Jos tähän ei ryhdytä, on suositeltavaa joka tapauksessa tehdä suunnitelmiin varaukset aurinkokeräinten myöhempää asennusta varten.

Lisäksi osa kiinteistön sähköenergiasta voidaan haluttaessa tuottaa kiinteistössä esimerkiksi aurinkosähköllä tai pientuulivoimalla. Pienen kokoluokan ratkaisulla on kuitenkin vaikeaa saavuttaa tehokasta tuotantoa, ja ei ole itsestäänselvää, että nämä ratkaisut tuottavat merkittäviä hiilidioksidipäästövähenemisiä elinkaarensa aikana. Toisaalta mikro- ja piensähköntuotannon ratkaisut kehittyvät nopeasti, ja markkinoille saapuu entistä tehokkaampia ja kilpailukykyisempiä ratkaisuja.

Rakennuksen energiatehokas ja kestävä käyttö

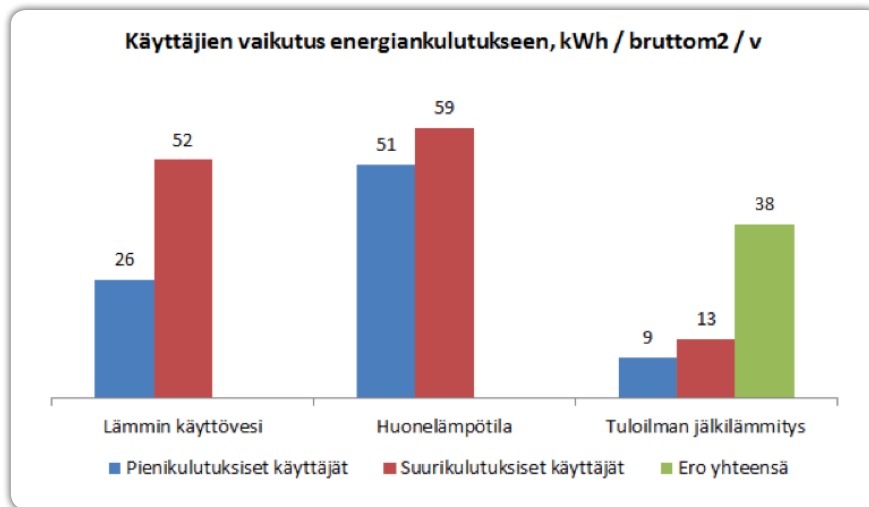
Rakennuksen käyttö vaikuttaa merkittävästi sekä rakennuksen kestävyys, korjaustarpeeseen että energiatalouteen. Käyttö jakautuu kerrostaloissa kiinteistön tekniseen käyttöön, josta vastaa yleensä isännöitsijä, sekä asukkaiden omaan käyttöön. Omakotitaloissa koko rakennuksen käyttämisestä vastaa useimmiten asukas itse. Käyttö ja huolto varmistavat rakennusosien ehjänä säilymisen niiden käyttöön päähän saakka sekä energiankulutuksen pysymisen tasolla, joka tarvitaan hyvien olosuhteiden saavuttamiseen.

Alapuolella on laskettu esimerkinomaisesti kiinteistön käytön ja käyttäjien toimenpiteiden vaikutusta tässä raportissa myöhemmin esiteltävän esimerkkikohteen osalta. Laskelmat perustuvat esimerkkirakennukseen osin muokattuna ja ovat luonteeltaan suuntaa-antavia. Laskelmissa ei huomioida rakennuksen hyödynnettäviä lämpökuormia, vaan energian tarve.

Osa-alue	Pieni kulutus	kWh/ m2 br. /v	Suuri kulutus	kWh/ m2 br. /v
Lämmin käyttövesi	50 l / asukas / d	26	100 l / asukas / d	52
Huonelämpötila	21 °C	51	24 °C	59
Tuloilman jälkilämmitys	Tarvittu teho, CO ₂ -ppm	9	24/7 vakioteho	13
Yhteensä kWh		86		124

5.6

Esimerkissä energiatehokkaan ja energiasyöpön käyttäjän välinen erotus energian kysynnässä on noin 38 kWh bruttoneliötä kohti vuodessa, eli tarkastelluilta osin 44 %. Esimerkiksi ilmanvaihdon ohjausta koskevat ratkaisut ovat kiinteistön teknisiä ominaisuuksia, mutta niiden ohjaus perustuu käyttäjien kanssa tehtävään yhteistyöhön.



*Rakennuksen
käyttäjien vaikutus
energiankulutukseen*

Omakotitalojen osalta käyttäjän vaikutuksesta rakennuksen energiankulutukseen on löydetty vielä suurempia poikkeamia. Kerrostalokohteissa yhden asukkaan ratkaisuilla on suhteessa pienempi vaikutus, mutta kokonaisuutena sekä asukkaiden että isännöitsijän toimesta harkiten käytetty kerrostalo erottuu varmasti huolimattomasti käytetystä kulutuksessa.

Käyttäjän käyttäytymisen lisäksi energiankulutukseen vaikuttaa luonnollisesti käytön intensiteetti. Tällä ei ole kuitenkaan niin suurta merkitystä asuinrakennusten osalta, joihin tässä raportissa keskitytään.

Alla on esitetty keinoja, joiden avulla voidaan parantaa kivitalojen ympäristötehokkuutta. Suurin osa keinoista kytkeytyy toisiinsa ja vuorovaikuttaa keskenään. Myös silloin, kun rakennuksen runkomateriaalina on jokin muu kuin betoni, käytetään merkittäviä määriä betonia esimerkiksi perustukseen ja väestönsuojaan, jolloin alla esitetyt keinot ovat käytettävissä.

Valinta	Vaikutustapa
Betonin lujuustason optimointi (6.1)	Alempien lujuusluokkien hyödyntäminen mahdollistaa sementin määrän vähentämisen betonissa, joka pudottaa CO ₂ e-päästöjä.
Seos- ja lisäaineiden käyttö sementissä (6.2)	Hyödyntämällä seosaineita voidaan vähentää sementtiklinkkerin osuutta betonissa, jolloin päästään pienempiin päästöihin.
Laadunarvostelun suunnittelu (6.3)	Jos betonin laadunarvostelua voidaan siirtää myöhemmäksi, päästään vaadittuun lujuuteen myös pienemmillä sementtimäärillä.
Massojen optimointi (6.4)	Materiaalin määrän optimointi mahdollistaa vähäpäästöisemmät rakenteet, jos määrän vähennys ei alenna rakennuksen käyttöikää.

Tarpeettoman korkeiden lujuusluokkien välttäminen

6.1

Tarpeettoman korkean rasitus- tai lujuusluokan käyttäminen johtaa korkeampaan sementtimäärään. Toisaalta korkeampi lujuus voi mahdollistaa betonin määrän vähentämisen ja sitä kautta pienentää rakenteen ympäristökuormituksia. Alhainen lujuus ei siten aina takaa alhaisempia CO₂-päästöjä ja optimointi tuleekin tehdä rakennekohtaisesti. Usein rakenteissa kuitenkin betonin lujuusluokkaa voidaan alentaa ja siten saavuttaa merkittäviä säästöjä CO₂-päästöissä.

Uusimman betoninormiston käyttäminen (SFS 7022:2011 / Betoninormi BY50:2011) mahdollistaa alemmille rasitusluokille huomattavasti pienemmät sementtimäärät. Betoninormiston uudistuksen myötä sementin osuutta voidaan pudottaa C30/37-luokkaa alemmissa rasitusluokissa. Jos tehdään alempia luokkia ja käytetään enemmän seosaineita, saadaan lopputuloksena edullisempia ja vähäsementtisempiä sekä vähäpäästöisempiä tuotteita. Tätä pienempien luokkien hyödyntäminen onnistuu sisällä lämpimässä olevissa rakenteissa.

Betonin rasitusluokka	Vähimmäisementtimäärä kg / m ³ , 50 vuodelle	Vähimmäisementtimäärä kg / m ³ , 100 vuodelle
C12/15	-	-
C20/25	160	160
C30/37	250	250
C35/45	320	320
C40/50	330	330

C20/25- ja C30/37-luokkien välinen ero sementin käytössä vastaa suoraan noin neljänneksen pudotusta betonikuution hiilidioksidipäästöissä. Esimerkiksi väliseinien rakenteisiin voidaan hyvin käyttää C20- tai C30-betonia rakennuksen korkeuden mukaan.

Lujuusluokan alentaminen hidastaa lujuuden kehitystä. Elementtitehtaila alempi lujuusluokka sopii esimerkiksi viikonloppuvuoroon, ja muulloin lujuuden kehitystä voidaan kompensoida lämmöllä. Lämpö on sekä talouden että ympäristön kannalta sementtiä parempi ratkaisu. Valurakenteissa aikataulut ja lujuuden kehitystarpeet on sovitettava kohdekohtaisesti.

Koska sementtimäärä korreloi suoraan betonin päästötason kanssa sekä myös osit-

tain betonin kustannuksen kanssa, on erittäin perusteltua hyödyntää myös alempia rasitusluokkia silloin, kun rakennuksen toiminnalliset vaatimukset sen mahdollistavat.

Sisä rakenteiden kannalta karbonatisaatio ei myöskään ole yhtä merkittävä ongelma, ja näin betonirakenteet voitaisiin suunnitella myös huokoisemmiksi, jotta hiilidioksidi voi helposti sitoutua rakenteisiin käytön aikana ja näin tehdä materiaalista vähäpäästöisemmän.

Rasitusluokan heikentäminen rakennuksen käyttöön kustannuksella johtaa huonoihin lopputuloksiin kaikilla mittareilla. Tavoitteen tulisikin olla kestävä, elinkaaritehokas rakennus.

Eräissä julkaisemattomassa tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin sekä lujuusluokkien minimointia rakennuksen kantavuuden kannalta, oltaisiin noin kaksi kolmasosaa betonimassasta voitu toteuttaa rakenteiden kantavuuden puolesta alkuperäistä suunnitelmaa kevyemmällä lujuusluokalla. Tämä tarkastelu ei tosin huomionnut mm. akustisia ja kestävyystarpeita. Tässä kohteessa optimoimalla lujuusluokat betonirakenteiden hiilipäästöt alenivat noin 10 %.

Seos- ja lisäaineiden käyttö sementin ja betonin raaka-aineina

Vähentämällä sementin määrää betonikuutiota kohti vähenevät päästöt suoraviivaisesti, jos betonin laatu ei tämän johdosta heikkene alkuperäisestä tasosta. Alalla käytetäänkin jo useita keinoja sementtiklinkkerin määrän vähentämiseen. Tärkeitä, ja jo tällä hetkellä laajasti käytettyjä seos- ja lisäaineita ovat lentotuhka, masuunikuona, ja polttamaton kalkkikivi.

Tilaajan tärkein päätös on olla rajoittamatta seosaineiden käyttöä. Joissakin tapauksissa tilaaja on rajoittanut toimittajan mahdollisuutta sekoittaa ympäristöä vähemmän kuormittavia mutta saman toiminnallisen tason tarjoavia seosaineita betoniin. Tämäntapainen toiminta nostaa kaikkien osapuolten kustannuksia sekä kuormittaa ympäristöä tarpeettomasti.

Tilaaja voi vaikuttaa päästöihin myös positiivisella tavalla pyytämällä toimittajia etsimään hankkeeseen soveltuvia keinoja päästöjen alentamiseen. Oikean sementtilaadun ja sopivan reseptuurin valinta voi vähentää hankkeen päästöjä nostamatta kustannuksia. Sementin tärkeät seosaineet ovat voimalaitosten jätevirtoja, ja näiden saatavuus vaihtelee alueellisesti ja ajallisesti. Jätteiden hyödyntäminen vähentää päästöjen lisäksi myös hyötykäyttöön kelpaamattoman jätteen määrää ja palvelee näin teollista ekologiaa.

Yleissementti vastaa noin puolta sementin kulutuksesta. Alla oleva taulukko esittää yleisten sementtilaatujen tyypilliset seosaineiden ja klinkkerin suhteelliset osuudet. Finnsementin resepteissä hyödynnetään kalkkikiveä, masuunikuonaa ja silikaa seosaineina. Siirtymällä yleissementistä plussementtiin voidaan klinkkerin käyttöä pienentää helposti ja tehokkaasti.

Tuotelaatu	Yleissementti	Plussementti	Rapidsementti
Seosaineiden osuus	6-20 %	21-35 %	6-20 %

Sementin jo sisältämien sidosaineiden lisäksi betonin valmistusvaiheessa reseptiin voidaan sekoittaa lentotuhkaa (pozzolaania), jota syntyy kivihiilivoimaloissa.

Talvella paljon seosaineita sisältävän ja hitaasti kovettuvan betonin käyttö on todennäköisesti mahdotonta. Talvisin vähäpäästöistä betonia voidaan hyödyntää lähinnä elementeissä.

Pidemmän laadunarvosteluiän suunnittelu

Betonituotteiden laadunarvostelu suunnitellaan perinteisesti kuukauden (28 päivän) ikäiselle koekappaleelle. Kappale kovettuu kuitenkin vielä tämän jälkeenkin. Mitä kylmemmät olosuhteet ovat, sitä hitaammin lujuus kehittyy.

6.2

6.3

Jos laadunarvostelu voidaan siirtää kolmen kuukauden ikään (91 päivää), pienenee sementin määrä noin yhden lujuusluokan verran. Eli jos lujuusluokka C35/45 saavutetaan C30/37-reseptillä, kuutiota kohti käytetyissä sementtimäärissä voidaan säästää noin 20-30 kg. Tämä vastaa noin 10 % päästövähennystä sementin osalta ilman laadun menetystä.

Suunnittelun ohjaus ja massojen optimointi

6.4

Suunnittelun ohjaus ja massojen optimointi on monimuuttujainen optimointitehtävä. Nykyisin optimointiparametrit ovat raha ja aika. Kustannukset muodostuvat pääosin työstä ja vaiheiden toistettavuudesta, eivät materiaalista. Materiaalin määrää ei juurikaan optimoida.

Optimointitehtävään voidaan lisätä ulottuvuutena myös materiaalin määrä tai hiilidioksidipäästötasapainossa muiden tavoitteiden kanssa. Optimointi voi koskea joko materiaalin määrää tai lujuusluokkaa. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kannalta suoraviivaisinta on optimoida rakennuksessa käytettävän klinkkerin määrää.

Elementtirakentaminen voi pienentää rakennuksen massoja silloin, jos pitkillä jänneväleillä voidaan vähentää pilarien määrää. Tällaiset elementit ovat tosin järeämpiä ja vahvemmin raudoitettuja, mutta tarjoavat mahdollisuuden kokonaismassan alentamiseen.

Materiaalin määrän optimointi ei ole kuitenkaan aina täysin suoraviivaista, koska rakennuksen ensimmäisen käyttäjän tarpeisiin tai ensimmäiseen käyttötarkoitukseen nähden ylimitoitettu massa, kantavuus tai paksuus voi olla perusteltu muuntojoustavuuden kannalta. Jos massoja voidaan vähentää ilman että rakennuksen energiatehokkuus, käyttö tai muunneltavuus siitä kärsivät, on näin perusteltua toimia. Rakennukseen käytettävän materiaalin määrä vähentää suoraan valmistusvaiheen CO₂e-päästöjä.

Massan määrän pienentämisessä myös lainsäädännöllä on oma roolinsa. Rakennusmääräykset eivät määrittele äänieristävyyden ja värähtelyn vaatimuksia näitä vastaavilla teknisillä parametreilla, vaan välipohjarakenteelta edellytetään korkeaa massaa. Jos rakennusmääräyksiä tältä osin muokattaisiin, voitaisiin akustiset tarpeet ratkaista muilla teknisillä innovaatiolla, ja vähentää rakennukseen tarvittavien materiaalien kysyntää.

Rakennuksen toiminnallisuutta kuvaavat tiedot

7.1

Porin DiaVilla on Länsi- Suomen Diakonialaitoksen säätiön rakennuttama asuin- ja toimistorakennus. Rakennuksen ensisijainen käyttötarkoitus on tuottaa palveluasumista iäkkäille, omatoimisesti kodinomaisessa ympäristössä asuville vanhuksille. Rakennuksen pohjakerrokseen rakennetaan myös toimistotiloja. Valmistumisajankohta on kesä 2013.

Rakennushankkeelle ei asetettu alun pitäen ympäristötavoitteita, vaan kohde on rakenteellisesti hyvin tavanomainen kerrostalo. Kohteen energialuokka on B, ja se rakennetaan vuoden 2010 rakennusmääräyskokoelman vaatimusten mukaisesti.

Tieto	Sisältö
Käyttötarkoitus	Asuinkerrostalo, palvelutalo
Bruttopinta-ala	3 486 m ²
Käyttöpinta-alat	toimisto 235 m ² , huoneistot 1967 m ² , muut tilat 694 m ²
Suunniteltu käyttöikä	50 vuotta
Asukkaita	50
Rakenne	Betonivalu
Perustus	Moreenimaaperä, kallioperustainen
Lämmitysratkaisu	Kaukolämpö, Porin Energia
Urakoitsija	MVR-Yhtymä Oy
Laskentatiedot	Urakoitsijan toimittamat tiedot, energiatodistus ja tarkennukset rakennesuunnittelijalta ja rakennusmateriaalien toimittajilta.

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki perustilassa

7.2

Alla on ilmoitettu eurooppalaisen rakennusten ympäristötehokkuusstandardin EN 15978 mukaan laskettu esimerkkikohteen hiilijalanjälki 50 vuodelle. Hiilijalanjälkilaskennan tarkoitus on esitellä ympäristövaikutusten tehostamistoimenpiteitä esimerkkikohteen kautta.

Elinkaaren vaihe	Huomautuksia	Päästöt tn CO ₂ e
A1-A3 Materiaalit	-	830
A4-A5 Rakentaminen	-	60
B1 Käyttö	Sis. karbonatisaation, ei sis. kylmäainevuotoja	-40
B2 Ylläpito	Arvio huolto-ohjelmasta	20
B3 Korjaus	Ei huomioitu	-
B4 Osien vaihto	50 vuoden aikana vaihdettavat osat	50
B5 Muuntaminen	Ei huomioitu (ei suunniteltua muuntamista)	-
B6 Käyttöenergia	Energiatodistuksen mukaan laskettuna	4 440
B7 Käyttövesi	Energiatodistuksen mukaan laskettuna	90
C1-C4 Purku	Rakennuksen massojen perusteella	60
Elinkaari yhteensä		5 510
D Lisätiedot	Sis. energian ja materiaalin hyödyntämisen	-240

Rakennuksen päästöt on yllä laskettu siten, että siinä oltaisiin käytetty tavanomaista betonia. Rakennuksen valurakenteissa on kuitenkin hyödynnetty Rudus Oy:n markkinoimaa vihreää betonia. Tämän vaikutukset esitetään alla myöhemmissä skenaarioissa.

Vaikka kohteen päästölaskenta onkin tehty EN 15978-standardin vaatimalla tavalla, kohteen tulosten raportointilaajuus ei täytä standardin asettamia edellytyksiä.

Tavanomaisesta tehokkaaseen – päästöjen puolittaminen

7.3

Esimerkkirakennusta ei ole alun pitäen suunniteltu vähäpäästöiseksi eikä se sitä ole, vaan paremminkin tavallinen. Kohde on mielenkiintoinen tässä juuri tavanomaisuutensa vuoksi.

Ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan keinoja, joilla rakennuksessa voitaisiin saavuttaa kunnianhimoinen päästöjen vähentämistavoite eli päästöjen puolittaminen. Rakennuksen päästöjä voidaan vähentää useilla tavoilla. Tähän on valittu toimenpiteet, jotka ovat sekä tehokkaita päästöjen vähentämisen kannalta että toteutuskelpoisia kohteessa. Esitetyt toimenpiteet ovat kirjoittajan laatimia eivätkä edusta rakennuttajan näkemystä tai tavoitteita.

Vaihe	Toimenpide	Vähennemät tn CO ₂ e
Vaihe 1	Vihreä betoni koko betonimassaan ja massan optimointi	- 190
Vaihe 1	Rakennuksen parantaminen passiivien energiatasolle	-1 500
Vaihe 1	Maalämpöpumppu (COP=3, hieman alimitoitettu)	-1 040
	Vaihe 1 toimenpiteet yhteensä	-2 730

Mainittujen toimenpiteiden toteuttaminen nostaa rakentamiskustannuksia jonkin verran. Toisaalta vuosittain ostettavan energian määrä vähenee myös merkittävästi, jolla voidaan kattaa syntyviä lisäkustannuksia. Kaikki käytetyt ratkaisut ovat Suomessa koeteltua teknologiaa, vihreää betonia lukuunottamatta.

Vihreän betonin vaikutus rakennuksen elinkaaripäästöihin on noin - 3 % ja rakentamisen päästöistä vastaavasti vaikutus on noin viidennes. Vihreä betoni on erityisen kiinnostava tehostamiskeino, koska se soveltuu lähes kaikentyyppisiin valurakenteisiin.

Tehokkaasta erinomaiseen – päästöt kolmasosaan

7.4

Tässä vaiheessa viedään vähäpäästöisyys yhtä askelta pidemmälle, tavoitteena päästä kolmasosaan rakennuksen alkuperäisen tilanteen elinkaaren päästötasosta.

Tavoitteen saavuttamiseksi rakennus on saatava lähes nollaenergiatasolle ja sen on tuotettava joko merkittävä osa omasta sähköstään tai kaikki lämpöenergiansa uusiutuvilla. Tässä on valittu ratkaisuksi aurinkosähkön tuottaminen puolelle tarvittua kiinteistösähköä.

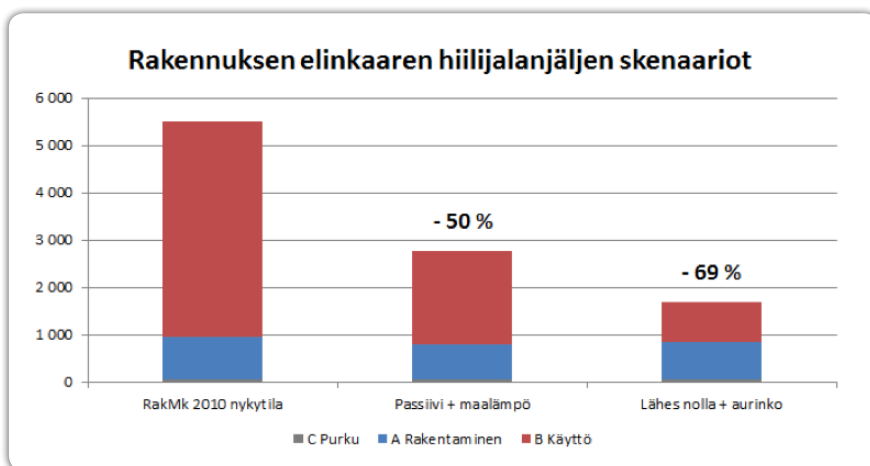
Vaihe	Toimenpide	Vähennemät tn CO ₂ e
Vaihe 2	Maalämpöpumpun hyöty vähenee hieman	+90
Vaihe 2	Rakennuksen parantaminen lähes nollaenergiatasolle	-810
Vaihe 2	Aurinkosähkön merkittävä tuotanto kiinteistön käyttöön	-380
	Vaihe 2 toimenpiteet yhteensä	-1 100

Tällä toteutusvaihtoehdolla on passiivitason ratkaisua selvästi korkeammat riskit ja kustannukset. Etenkin aurinkosähkön tuotanto nostaa investointikustannusta huomattavasti, ja siihen liittyy myös riski tavoitellun tuotantomäärän saavuttamisesta. Mahdollisuudet vähentää esimerkiksi betonirakenteiden päästöjä edelleen olisivat tervetulleita.

Skenaarioiden tulokset ja merkitys

7.5

Kohde on mahdollista toteuttaa nykyteknologialla puolella tai kolmasosalla siitä päästötasosta, joka kohteella on, jos mitään erityistä toimenpidettä ei käynnistetä.



Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen skenaarioiden päästövähennemä lähtötilasta

Päästöt vähenevät tehokkaimmin ensiksi käyttöenergiasta, mutta rakentamisvaiheen päästöjen osuus kokonaisuudesta ja sen tehostamisen merkitys kasvavat. Vihreän betonin kaltaisia ratkaisuja kannattaa hyödyntää, kun tavoitteena on vähähiilinen rakennus.

Alla on havainnollistettu rakennuksen elinkaaripäästöjä lukijan kannalta helpomalla tavalla:

Skenaario	Perus: RakMk 2010	Vaihe 1: passiivi	Vaihe 2: lähes nolla
Elinkaaren päästöt, tonnia CO2e	5 510 tn	2 780 tn	1 680 tn
Ajokilometreinä ¹⁷⁾	30 miljoonaa km	15 miljoonaa km	9 miljoonaa km
Ajokilometriä per asukas per vuosi	12 200 km	6 200 km	3 700 km

Toisin sanoen, kohde perustilassa vastaa päästöjä, jotka syntyvät jos talon 50 asukasta kukin ajavat vuosittain rakennuksen elinkaaren aikana noin 12 000 km henkilöautolla, tai kokonaisuutena 30 miljoonan kilometrin ajosuoritetta.

¹⁷⁾ Ajoneuvon keskipäästö
180 g CO₂e / km. Keskimääräinen
ajosuorite vuodessa 18 000 km.

Kaupallisesti Suomessa saatavilla olevat

8.1

Suomen markkinoilta on kirjoitushetkellä kaupallisesti saatavilla seuraavia tuotteita, jotka pienentävät ympäristörasitusta selvästi perinteiseen kivirakentamiseen verrattuna. Uusia ympäristötehokkaita tuotteita syntyy, kun niille on kysyntää. Avainroolissa tarjonnan kehittämisen kannalta ovat tuoteteollisuuden lisäksi asiakkaat, jotka käyttävät uusia tuotteita.

Tuote ja valmistaja	Toimintaperiaatteen kuvaus
Deltapalkki, Peikko Group Oy	Matalapalkki, joka mahdollistaa ohuimmat välipohjarakenteet. Markkinoilla on tarjolla vastaavia ratkaisuja myös muilta toimittajilta. Tuotetiedot: http://www.peikko.fi/product-group-fi/g=Deltapalkki
Ecopaalu, Parma Oy	Symmetrisesti jännitetty betonipaalu, joka voidaan tehdä pidemmäksi ilman jatkoksia ja jolla on jopa 25 % teräsbetonipaalu parempi kantavuus. Ecopaalu vähentää paalujen määrää ja materiaaleja Tuotetiedot: http://www.parma.fi/fi/Tuotteet/Ecopaalu/
Plussementti, Finnsementti Oy	Portlandinseossementti, jossa on 21-35 % seosaineita, eli vastaavasti pienempi määrä poltettua sementtiklinkeriä ja tätä vastaavassa suhteessa pienemmät hiilidioksidipäästöt. Tuotetiedot: http://www.finnsementti.fi/tuotteet/sementit/plussementti
Vihreä betoni, Rudus Oy	Valmisbetoni, jonka reseptissä käytetään seosaineita päästöjen vähentämiseksi. Soveltuu parhaiten perustuksiin ja sisätiloissa oleviin rakenteisiin, mutta jota voidaan käyttää myös muissa kohteissa. Tuotetiedot: http://www.rudus.fi/tuotteet/betonit/vihrea-betoni

Muulla markkinoille tuodut tai tuotekehitysvaiheessa olevat

8.2

Betonin kysynnästä ja päästöistä johtuen myös tutkimusta tehdään paljon. Tässä esitetyt hankkeet ovat vain pieni otos aiheesta koskevasta relevantista ja kiinnostavasta tutkimuksesta.

Pohjoisruotsalainen Cellfab on tuonut markkinoille uudenlaisen betoniraudoituksen, joka vähentää raudoitukseen tarvittavan teräksen määrää. Yrityksen sivut: www.cellfab.se.

George Washington Universityn (USA) tutkijat ovat kehittäneet ja testanneet sementin valmistusmenetelmää, joka perustuu auringon lämpöön ja ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä. Tutkimus ”STEP cement: Solar Thermal Electrochemical Production of CaO without CO₂ emission” on julkaistu Chemical Communications-lehdessä ja taustatiedot ovat vapaasti saatavilla verkossa: <http://www.rsc.org/suppdata/cc/c2/c2cc31341c/c2cc31341c.pdf>.

Betonin sideaineita kehitetään voimakkaasti. Muutamia kiinnostavia tutkimussuuntia ja niitä esitteleviä artikkeleja ja esityksiä ovat mm:

- beliitti- ja kalsium-sulfoalumiinipohjaiset sementit: [Keith Quillinin esitys](#),
- reaktiiviset magnesiumasementit: TecEco Pty:n [julkaisu 1](#) ja [julkaisu 2](#),
- alkaliaktivoivat tuhkasementit: [Andrew Dunsterin esitys](#), ja
- Novacem: kaupallinen magnesiumoksidiin perustuva sementti, www.novacem.com.

Lähdeluettelo

Standardit ja soveltamisohjeet

EN-15978 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.

FIGBC Elinkaaritehokkuus (julkaistaan tammikuussa 2013).

SFS 7022:2011 / Betoninormi BY50:2011

Tutkimukset ja tilastolähteet

Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 140.

Carbon dioxide uptake during concrete life cycle - state of the art, Swedish Cement and Concrete Research Institute.

Cement Sustainability Initiative, World Business Council for Sustainable Development.

Environmental Pollution from Rural Brick-making Operations, Xiaoheng Wang.

JOMAR - A Model for Accounting the Environmental Loads from Building Constructions

Passiivitalon arkkitehtisuunnittelu, VTT.

Passive Solar House Designs - The Farrans Study.

Rakennuksen lämmöneristystaso ja terminen massa muuttuvassa ilmastossa, Aalto-yliopisto, Energiatekniikka.

SQUARE – Laatuja järjestelmä muutettaessa asuinkerrostaloja energiatehokkaiksi, VTT.

USGS Mineral Program Cement Report. (Jan 2011), United States Geological Survey.

